

S. Handel

la révolution de l'électronique

histoire / principes / réalisations / perspectives

marabout université

Sur notre couverture : agrandissement d'un champ de thermistances en cours de fabrication. La couleur indique qu'il s'agit de résistances d'une valeur de 30 ohms (photo obligeamment mise à notre disposition par M.B.L.E.).



S. Handel

la révolution de l'électronique

histoire / principes / réalisations / perspectives



Première édition en langue française

Ce volume est le cent quatre-vingt-quatorzième
de la collection
marabout université
dirigée par
Jean-Jacques Schellens et Serge Godin.

L'édition originale anglaise
a paru sous le titre « The Electronic Revolution »,
aux Editions Penguin Books.

La traduction et l'adaptation en langue française
sont de Jacques Dessaucy.

La mise en pages des illustrations in-texte,
dessinées par C. Misstear,
a été réalisée par le Studio Marabout.

Les collections Marabout sont éditées et imprimées par GERARD & C°, 65, rue de Limbourg, B-4800 VERVIERS (Belgique). — Le label Marabout, les titres des collections et la présentation des volumes sont déposés conformément à la loi. Correspondant général à **Paris** : L'INTER, 118, rue de Vaugirard, Paris VI°. — Gérant exclusif et Distributeur général pour les **Amériques** : KASAN Ltée, 226, EST, Christophe Colomb, Québec - P.Q., Canada. — Distributeur en **Suisse** : Editions SPES, 1, rue de la Paix, Lausanne.

CINQUANTE ANNEES DE MUTATION

Durant une longue suite de millénaires, l'humanité a évolué lentement. Le domaine de la science s'enrichissait de connaissances nouvelles ; la technique progressait peu à peu ; le mode de vie changeait en conséquence.

Mais voici que, depuis un demi-siècle, à cette lente évolution est venue se substituer une véritable révolution. La science et la technique ont connu depuis un prodigieux essor. Et le visage de l'humanité a changé en une cinquantaine d'années bien plus qu'au cours de toute l'ère chrétienne.

A quoi est due cette brusque mutation ? A de nombreux facteurs dont incontestablement le principal est l'avènement de l'électronique.

Tout le monde sait ce que signifie ce terme. Et pourtant — paradoxalement — on n'a jamais réussi à le définir avec précision. Il serait faux de considérer l'électronique comme un chapitre de la physique traitant de l'électron. Il s'agit, en fait, de l'ensemble des techniques utilisant le mouvement des électrons non seulement dans des conducteurs, mais aussi dans des semi-conducteurs et même dans le vide.

Avant que fût forgé le terme même d'électronique, celle-ci devait porter des noms qui caractérisent les étapes parcourues dans son rapide développement : T.S.F., puis Radio. L'électronique est née en 1906, lorsque Lee De Forest inventa cette « lampe de T.S.F. » qui fut le premier tube électronique. Et la télégraphie sans fil est elle-même le résultat d'une coopération efficace entre savants de plusieurs pays.

L'existence des ondes électromagnétiques est, dès 1832, soupçonnée par le génie intuitif du physicien anglais Michael Faraday (1791-1867). Un autre Anglais (d'origine écossaise), James Clerk Maxwell (1831-1879) va plus loin en démontrant mathématique-

ment que de telles ondes doivent exister et que la lumière fait partie des ondes de cette nature ; il détermine en outre la vitesse de leur propagation. Et lorsque le physicien français Hippolyte-Louis Fizeau (1819-1896) mesure cette vitesse au cours de ses célèbres expériences, il trouve une valeur pratiquement égale à celle calculée par Maxwell.

Il faut, cependant, attendre l'année 1887 pour que l'existence des ondes électromagnétiques soit démontrée expérimentalement par Rudolf Hertz (1857-1894), ce physicien allemand dont le nom, de nos jours, sert d'unité de fréquence (« hertz » est l'équivalent de « période par seconde »).

C'est au grand savant français, Edouard Branly (1844-1940) que revient le mérite d'avoir découvert, en 1890, le moyen pratique de détecter la présence des ondes électromagnétiques. Il constate, en effet, que la conductibilité électrique des poudres métalliques augmente lorsqu'elles sont soumises à l'action des ondes engendrées par une étincelle électrique. Ainsi est né le cohéreur, premier détecteur des ondes hertziennes. De plus, Edouard Branly remarque que l'action à distance est plus sensible quand les courants circulent dans de longues tiges métalliques. C'est dire qu'on lui doit aussi l'invention de l'antenne souvent attribuée à tort à Alexandre Popov (1859-1905). En revanche, ce grand savant russe est incontestablement le premier à avoir conçu et réalisé un système de télégraphie sans fil où il a utilisé, en le perfectionnant, le cohéreur de Branly.

C'est le 7 mai 1895, devant les membres de la Société Russe de Physique et de Chimie, qu'il effectue la démonstration historique de transmission sans fil de signaux Morse. Dans le récepteur, ils déterminent le déclenchement d'une sonnerie courte (pour les points) ou longue (pour les traits). Le 24 mars de l'année suivante, Popov fait la démonstration d'un appareil perfectionné où les signaux reçus sont inscrits sur une bande de papier. Les deux mots formant le premier message ainsi transmis sont « Heinrich Hertz ».

Le 2 juin 1896, un jeune étudiant de l'université de Bologne, Guglielmo Marconi (1874-1937) dépose un brevet anglais décrivant un système de T.S.F. différant peu de celui de Popov. Cependant, doué de sens pratique et plein d'enthousiasme, le jeune Italien fait parler de ses travaux dans toute la presse et obtient rapidement des résultats spectaculaires. C'est lui qui effectue, le 12 décembre 1901, la première liaison radio transatlantique.

Dès lors, la nouvelle technique se développe rapidement. L'impulsion décisive à son essor est donnée par l'invention déjà

mentionnée du tube électronique due à Lee De Forest. En 1917, le Français Lucien Lévy (1892-1965) invente le superhétérodyne, montage à changement de fréquence universellement employé dans les récepteurs de radio et de télévision.

Dans les années vingt, un peu partout sont implantés des émetteurs de radiodiffusion établissant ainsi pour chaque foyer la possibilité d'être en liaison avec le monde entier. On sait le rôle que la radio a joué lors de la seconde guerre mondiale.

Ce que la radiodiffusion fait pour l'oreille, la télévision le fait pour l'œil. Après de timides débuts dans les années trente, elle connaît de nos jours une prodigieuse floraison. Véritable fenêtre ouverte sur le monde, elle a sensiblement changé le mode de vie et l'ouverture d'esprit des populations des pays qu'elle dessert. Tous les événements mondiaux, tous les chefs-d'œuvre de l'art et de la musique, tous les genres de distraction ou de culture, toutes les manifestations sportives ou politiques sont apportés dans nos foyers sur les ondes de radio et de télévision.

Evoluant rapidement, la technique nous permet de recevoir des images en couleurs. Demain, elles nous parviendront en relief. Et le téléviseur prendra la forme d'un tableau plat de grande surface, accroché au mur. Telle sera probablement l'une des innombrables conséquences de la révolution intervenue en électronique lorsque, en 1948, les Américains Bardeen, Brattain et Shockley inventèrent le transistor en ouvrant ainsi l'ère des semiconducteurs.

Loin de se limiter au domaine des télécommunications, l'électronique a pénétré dans tous les secteurs de l'activité de l'homme. Elle a fourni à la recherche de puissants moyens d'investigation, déterminant ainsi d'innombrables conquêtes de connaissances nouvelles.

A l'industrie, l'électronique a fourni des moyens d'automatisation épargnant à l'homme des besognes fastidieuses et les accomplissant à sa place avec une précision et une vitesse accrues.

L'ordinateur va encore plus loin en déployant à la place du cerveau humain ses pouvoirs de raisonnement logique et de calcul.

La navigation aérienne et la conquête de l'espace ne sauraient point se passer de l'électronique, facteur déterminant des progrès accomplis en aviation et en cosmonautique.

En résumé, si l'homme bénéficie actuellement de conditions d'existence infiniment différentes de celles de ses grands-parents, s'il est tiré de l'isolement où ceux-ci devaient vivre, si son volume de connaissances a considérablement grandi, si son travail est plus facile, ses déplacements plus rapides, sa santé mieux proté-

gée, il le doit essentiellement à l'électronique.

Et loin d'avoir dit son dernier mot, l'électronique progresse de plus en plus vite.

De quoi demain sera-t-il fait ?

E. AISBERG.
Directeur de la Société
des Editions Radio, Paris.

INTRODUCTION

La recherche en science appliquée conduit à des réformes, la recherche en science pure conduit à des révolutions.

J.J. Thomson

Dans les dernières années du XIXe siècle, un professeur distrait, enseignant la physique à l'université de Cambridge, découvrait l'électron. Joseph John Thomson, né à Manchester, fut d'abord étudiant puis maître de conférences en mathématiques au Trinity College. En 1884, alors qu'il n'avait encore que trente-huit ans, il fut nommé professeur de Physique au laboratoire Cavendish de l'université de Cambridge. Son esprit n'était guère tourné vers les problèmes quotidiens (une fois, on dut rassurer sa femme qui le croyait parti au laboratoire en pyjama !). Entièrement tourné vers des questions beaucoup plus passionnantes, il étudiait le mystérieux phénomène que constituait la transmission de l'électricité dans les gaz.

« Je fus amené à entreprendre des recherches sur le sujet, écrit-il, et j'arrivai à la conclusion que chaque fois qu'un gaz est conducteur d'électricité la plupart de ses molécules ont été brisées, et que ces molécules sont la cause de la conductivité du gaz...

« Ce n'est qu'en 1897 que je découvris que la décomposition des molécules est d'un type tout à fait différent de celui de la désintégration atomique ordinaire ; alors, je découvris que l'un des corps provenant du fractionnement des molécules, celui doté d'une charge négative, a une structure totalement différente de celle de l'atome et qu'en effet, sa masse est plus petite que la

millième partie du plus petit atome connu. »

Cet extrait de rapport est typique et illustre la clarté et l'originalité de la pensée de Thomson ainsi que l'extraordinaire pénétration qu'il avait de l'intérieur du monde des atomes. Sa perspicacité le rendit capable d'identifier et de mesurer cet électron si incroyablement petit et d'être l'inspirateur de ses élèves et de ses collègues amorçant ainsi la découverte de la structure de l'atome.

Il serait naïf d'imaginer que la découverte de l'électron aurait encore tardé longtemps si Thomson avait été moins génial. Son heure était venue et dans les principaux centres de recherches de physique du XIXe siècle, d'autres savants étaient sur sa piste et tout près de le découvrir. Mais cette constatation ne doit pas diminuer l'importance de son exploit, lequel peut être vu, rétrospectivement, comme le sommet de la physique au XIXe siècle et comme la source de son courant principal au XXe siècle. Thomson était un homme remarquable qui vit plus loin que ses contemporains mais qui ne put pourtant prévoir les répercussions que sa découverte allait avoir sur la vie des habitants de notre planète au cours de ce XXe siècle.

Le thème de ce livre est que la découverte de l'électron et les recherches qui suivirent, afin d'en déterminer la nature, ont amené une révolution dans le domaine de la physique. L'utilisation de ces nouvelles connaissances dans le domaine de la science appliquée et plus particulièrement en électronique, amena une révolution technologique et fut la cause d'une révolution au sein de la civilisation du XXe siècle, révolution qui domine notre temps et déterminera l'avenir. Cette affirmation peut sembler extravagante. Après tout, durant les deux tiers de siècle qui se sont écoulés depuis la découverte de l'électron, beaucoup d'autres grandes découvertes scientifiques ont été faites ; des exploits sensationnels en matière de technique se sont succédé à une allure ahurissante ; de violents changements politiques et sociaux se sont opérés en plusieurs coins du monde ; des armes monstrueuses ont été mises au point qui menacent de nous annihiler tous.

Quelle peut bien être dans tout ceci l'importance de ce fragment d'électricité invisible et incroyablement minuscule, l'électron ? Quelle est la signification que je donne à l'expression : « la révolution de l'électronique » ?

Avant la découverte de l'électron, les données sur la nature véritable de la matière avaient peu progressé depuis les hypothèses des Anciens Grecs. Il était tout à fait clair que toutes les matières étaient composées d'une variété limitée de différents types de particules « ultimes » nommées atomes. Le mot « atome » signifie « qu'on ne peut diviser » et il était généralement admis, par exemple, que s'il était possible de couper un morceau d'or en morceaux de plus en plus petits, on finirait par avoir un grand nombre de très petits atomes identiques qu'il serait impossible de découper encore. On savait beaucoup de choses concernant les propriétés de substances telles que l'or, le cuivre et le fer. Toutefois personne ne pouvait expliquer les différences existant entre les atomes d'or, de cuivre et de fer. Les efforts des alchimistes, pour changer le fer, le cuivre ou l'étain en or montraient simplement leur ignorance de la structure atomique. Aujourd'hui, nous pouvons fragmenter les atomes en morceaux plus petits et transformer un type d'atome en un autre type parce que nous savons comment sont constitués les atomes. La théorie atomique moderne débuta avec les découvertes de Thomson au laboratoire Cavendish et, en physique, elle provoqua une révolution qui transforma à son tour la science entière.

La lumière que Thomson projeta vers le monde caché de l'atome prépara la voie à beaucoup de découvertes excitantes, à la fois par le laboratoire Cavendish et par des savants du monde entier. Les exploits remarquables du laboratoire Cavendish seul sont les suivants : la découverte du noyau atomique et du proton par Rutherford, un jeune collaborateur néo-zélandais de Thomson, qui allait même éclipser l'illustre J.J. Thomson ; la découverte du neutron par un des disciples de Rutherford, James Chadwick ; et l'invention de l'accélérateur de particules par Cockcroft et Walton. Au début du XXe siècle, des découvertes de ce genre inspirèrent les grands mathématiciens et physiciens qui s'appliquaient à formuler leurs théories révolutionnaires. La théorie des quanta*, de Planck ; celle de la relativité d'Einstein ; le modèle de l'atome, de Bohr ; la nouvelle théorie ondulatoire de de Broglie et Schrödinger ; et le principe d'incertitude, d'Heisenberg et de Dirac, étaient tous concernés puisqu'ils avaient à expliquer le comportement des électrons, des protons et de

* L'astérisque renvoie au glossaire en fin de volume.

autres particules fondamentales formant l'univers. Dans le domaine de la science pure, la révolution porta rapidement ses fruits dans beaucoup d'autres domaines : celui de la science appliquée et de la technologie, spécialement électronique. La technique du vide, mise au point pour l'étude des électrons libres conduisit directement à la lampe radio, et le tube de Crooke, qui excita l'intérêt de Thomson pour les rayons cathodiques, fut l'ancêtre du tube-écran du récepteur de télévision. L'électronique nouvelle, jointe aux techniques plus anciennes du télégraphe et du téléphone, déclencha une révolution dans les communications à l'échelle mondiale. Si la découverte de l'électron avait conduit uniquement à celle de la radio et de la télévision, elle resterait un facteur décisif de la forme qu'a prise notre civilisation ; mais elle a amené encore quantité d'autres inventions.

L'électronique a engendré le radar et les missiles téléguidés. Elle a mené à la nucléonique* et, de là, aux armes atomiques et à la mise en exploitation de l'énergie contenue dans l'atome. Elle a donné naissance à l'ordinateur électronique dont on commence à peine à ressentir l'impact sur la société. A partir du milieu du XXe siècle, une industrie de l'électronique en expansion rapide, conçue à l'échelle de la planète, déversait des millions de pièces détachées, nécessaires aux récepteurs de radio et de télévision ainsi qu'aux appareils destinés à chaque branche de la science et de la technique, instruments capables d'atteindre une rapidité et une sensibilité sans précédent.

Les engins électroniques donnent une extension formidable à nos sens. Nous pouvons désormais observer des structures bien trop petites pour être visibles même dans le microscope optique le plus puissant et nous pouvons recevoir des signaux provenant de radio-sources, lesquels signaux débutèrent leur longue course à travers l'espace des siècles avant que la vie apparaisse sur notre planète. L'électronique, conjointement à la science des fusées, permit aux savants de prendre des gros plans de la Lune, rendant possible son abordage par l'homme. L'électronique mise au service de la médecine a déjà amené des progrès importants en matière de diagnostic et de traitement. Utilisée en biologie, ses premiers grands triomphes, en permettant de démêler les mystères de la structure des protéines, offrent de grandes promesses dans la connaissance de la composition des structures vivantes et le fonctionnement de notre propre cerveau.

Dans l'industrie, l'électronique joue un rôle prépondérant en matière d'automation. Elle engendre une seconde révolution industrielle d'une portée sociale beaucoup plus large que la première. A la maison, des appareils contrôlés électroniquement exécuteront les corvées domestiques ; au bureau, des machines traitant électroniquement l'information exécuteront les corvées intellectuelles.

Ce temps de loisirs accrus qui résultera de la révolution de l'électronique posera de nouveaux problèmes à la société mais permettra également à chacun d'enrichir et d'étendre sa culture et de jouir des possibilités étendues d'échanges sociaux et culturels.

Evidemment, ceci ne va pas sans quelques inconvénients. Comme toutes les autres révolutions importantes, la révolution de l'électronique présente des éventualités négatives et déplaisantes. Des modifications importantes dans les méthodes de production industrielle peuvent causer des privations pour beaucoup durant la période de transition. Mise dans les mains d'hommes égoïstes, cupides ou insensés, l'électronique constituerait un moyen puissant de troubler la paix ou d'envahir les moments d'intimité de chacun ; ou encore d'avilir, de corrompre le niveau des distractions et des arts, voire de diffuser de la propagande au profit d'intérêts privés ou politiques. Les loisirs créés par l'automation pourraient devenir une force destructive au sein de la société. De leur côté, les nouvelles armes de destruction massive — si elles sont jamais utilisées — seront dirigées vers leurs cibles par des moyens électroniques.

Mais la médaille a son bon côté. L'électronique a aussi donné naissance à la cybernétique* qui met à notre disposition, pour la première fois dans l'histoire, une science du contrôle efficace basée sur une information adéquate et sur la communication. Dans les mains d'un gouvernement sage et bienveillant, cette puissance pourrait se révéler un facteur décisif pour résoudre les problèmes actuels de ce monde troublé et répondre aux besoins ainsi qu'aux aspirations de l'humanité.

Qu'elle soit bénéfique ou néfaste, la révolution de l'électronique est en marche et ses effets ne font que s'amplifier. Puisque nous ne pouvons pas y échapper, essayons de la comprendre et de la contrôler. Ce livre tentera une description de ses traits saillants : ses origines et son développement, son impact sur le présent et ses possibilités pour l'avenir.

PREMIERE PARTIE

Les débuts d'une révolution

Chapitre premier

LES LONGUES RECHERCHES

Loin hors de la portée des sens se trouve.
L'essence de ces ultimes particules composant le monde.
Et ainsi, vous ne pouvez les voir.
Et elles peuvent cacher leur mouvement de la vue des hommes.

Lucrèce : *De la nature des choses (58 av. J.-C.).*

Si un Ancien Grec mis en hibernation durant trente-cinq siècles s'éveillait à notre époque, il trouverait sans doute très déroutante notre manière actuelle de vivre. Son plus grand étonnement serait peut-être provoqué par l'importance prise apparemment par une résine fossile — l'ambre jaune — qui, semble-t-il, nous assure la lumière, la chaleur, l'énergie et les moyens de transports. Elle entre aussi dans la composition d'innombrables instruments mystérieux qui, comme par magie, tirent de l'air des sons et des images ou qui commandent inlassablement les machines utilisées par l'homme moderne.

Il était connu depuis fort longtemps que l'ambre (*êlektron*, en grec) possède la propriété particulière, après avoir été frotté, d'attirer des corps légers. Les philosophes grecs n'ont jamais imaginé l'importance réelle de cette étrange propriété.

Les premières idées, assez sommaires, concernant l'unité fondamentale de la nature furent énoncées par Thalès de Milet 600 ans avant Jésus-Christ. Il exprima sa conviction de l'existence d'un corps élémentaire unique ; cependant, il aurait été étonné d'apprendre que les particules capables de donner à l'ambre frotté sa force d'attraction, étaient exactement de la même nature que celles produisant un éclair. Démocrite, qui a été dépeint par Francis Bacon comme « un homme construit d'un

métal plus résistant que Platon ou Aristote », a édifié une conception atomiste de la nature et a posé comme principe fondamental que : « Les seules choses existantes sont les atomes et l'espace vide ; et le reste n'est qu'opinion personnelle. » Qu'aurait pensé Démocrite de la conception de nos physiciens modernes qui prétendent que les atomes eux-mêmes sont constitués principalement de vide dans lequel les électrons se déplacent à grande vitesse autour de noyaux centraux ?

Le poète romain Lucrèce écrivit des phrases éloquentes sur les idées des atomistes grecs concernant l'infinie variété des atomes qu'ils pensaient être les « particules ultimes » de la nature. Mais ses réflexions s'appliquent encore avec plus de force aux électrons et aux protons, beaucoup plus petits et plus simples, qui constituent les atomes.

Que les électrons se révèlent être ou pas les particules ultimes de la matière, ils sont en effet tellement « loin hors de la portée des sens » qu'il n'est guère surprenant de constater que leur existence fut encore ignorée durant 2 500 ans après Thalès. Cependant, quoique les Grecs n'aient eu aucune théorie concernant l'électricité, leurs spéculations donnèrent le départ aux longues recherches sur « l'essence de ces ultimes particules composant le monde ». Ces études firent avancer considérablement la physique et conduisirent finalement à la découverte de l'électron. Si les Grecs avaient eu une tournure d'esprit plus pratique, ils auraient pu construire une boussole ; en fait, l'aiguille aimantée fut inventée par les Chinois au XIe siècle et introduite en Occident par des marins méditerranéens au XIIe siècle. Ce fut vraisemblablement cette découverte qui stimula les recherches et les expériences de William Gilbert de Colchester.

Gilbert, médecin privé de la reine Elisabeth Ire et président du Collège royal des médecins, avait été soigneusement nourri de grec et de latin ; ce fut lui qui inventa le mot « électricité ». Observateur perspicace et précis, il était en outre homme pratique. Dans son livre célèbre *De Magnete* publié en 1600, il nous indique d'une manière simple et précise comment construire un « instrument à aiguille », nécessaire pour réaliser des expériences dans le domaine de l'électricité : « Maintenant, afin de comprendre clairement grâce à l'expérimentation comment s'exerce l'attraction, et ce que peuvent être ces substances qui attirent ainsi d'autres corps, fabriquez vous-même une aiguille pivotante

(électroscope* — *versorium*) de trois ou quatre doigts de long, assez légère, et placez-la en équilibre sur une pointe à la manière d'une aiguille aimantée ordinaire. Approchez d'une de ses extrémités un morceau d'ambre ou une pierre précieuse, polie et brillante : immédiatement, l'aiguille pivote. Quantité d'objets la font dévier de cette façon, non seulement des objets naturels mais aussi des choses produites artificiellement, ou fabriquées ou obtenues par mélange. Cette propriété peu commune n'est pas seulement le fait d'une matière ou deux (comme on le suppose communément) mais appartient donc sans aucun doute à une multitude de matières simples ou complexes, comme par exemple la cire à cacheter et d'autres produits similaires. »

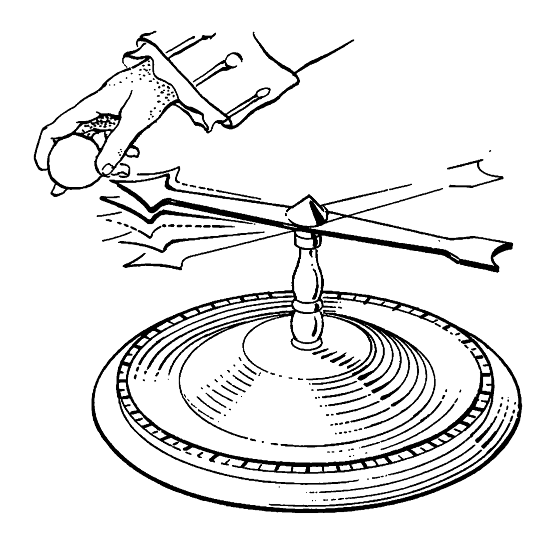


Figure 1. Un électroscope du XVII*ᵉ siècle : des instruments très simples comme celui-ci furent employés par Gilbert pour démontrer l'attraction ou la répulsion existant entre des corps chargés électriquement.*

Construit par W. Gilbert, l'électroscope est le prototype d'une longue série d'instruments munis d'une aiguille. Ces appareils, de plus en plus sensibles et précis, furent indispensables à la crois-

sance de la physique. Ainsi outillé, Gilbert put montrer que les matières pouvaient être divisées en deux catégories : celles, telles que le verre et le soufre, qui ressemblent à l'ambre car elles attirent l'aiguille pivotante lorsqu'on les frotte ; et celles, comme l'argent et le cuivre, qui n'attirent pas l'aiguille (voir fig. 1).

Il appela « électriques » les matières de la première catégorie que nous appelons aujourd'hui « diélectriques » ou « isolantes » parce qu'elles s'opposent au passage de l'électricité. La seconde catégorie que Gilbert baptisa « non électrique » couvre nos actuels métaux conducteurs qui se laissent traverser sans difficulté par l'électricité. A cause de cette propriété, ces corps sont incapables d'emmagasiner une charge électrique produite par frottement, comme le font l'ambre jaune et les autres isolants. Sans hésitation, les travaux de Gilbert peuvent être considérés comme le point de départ de la physique expérimentale. Toutefois, il ne proposa aucune théorie concernant la nature de l'électricité. En dépit de son étude complète sur un minerai, la magnétite, et sur l'aiguille aimantée, il ne devina pas le lien fondamental existant entre magnétisme et électricité mais fut plutôt enclin à considérer ces phénomènes comme bien distincts l'un de l'autre. Il ne découvrit pas non plus l'existence manifeste de deux sortes d'électricité.

Après Gilbert, de nombreux amateurs, des philosophes et des savants, dont Otto von Guericke, l'inventeur de la pompe à air, et Isaac Newton lui-même, étudièrent puis présentèrent en public les phénomènes saisissants obtenus par le frottement de diverses substances.

Au début du XVIIIe siècle, Hauksbee, l'assistant de Newton, montra que, non seulement ce frottement engendre l'électricité, mais qu'il peut également produire des effets lumineux dans le vide : ainsi, sans le savoir, il donna naissance à l'éclairage fluorescent. Cela devint un fait connu de tous que de petits corps légers, tels que des barbes de plumes, peuvent sauter d'un côté ou de l'autre selon qu'ils sont attirés ou repoussés par une bille de verre ou de soufre préalablement frottée avec un chiffon de soie.

En 1733, le physicien français Du Fay nota que la cire à cacheter est électrisée lorsqu'on la frotte avec la fourrure de chat et qu'elle attire alors un corps électrisé lequel, par contre, est repoussé par une baguette de verre. C'est pourquoi il décrivit deux sortes d'électricité : l'une « vitrée », obtenue en frottant du

verre avec de la soie ; et l'autre « résineuse », produite par le frottement de la cire à cacheter avec de la fourrure. En langage moderne, nous dirions que, dans le premier cas, les électrons sont transférés du verre à la soie et que, dans le second cas, les électrons sont transférés de la fourrure à la cire à cacheter. Mais Du Fay ne fournit aucune explication de ses découvertes.

La première théorie concernant l'électricité fut émise par Benjamin Franklin, ce révolutionnaire, qui peut en outre être appelé le « premier savant international » puisqu'il fut élu membre associé de la Royal Society en 1756 (la Royal Society est l'Académie des sciences britannique). Franklin identifia les deux sortes d'électrisation constatées par Du Fay et introduisit les adjectifs « positive » et « négative » pour les distinguer. Il décida qu'un corps est chargé d'électricité positive quand il est repoussé par une baguette de verre, et qu'un corps est chargé d'électricité négative quand il est repoussé par de la cire à cacheter frottée avec de la fourrure. Ces définitions arbitraires sont encore aujourd'hui le fondement de nos termes « positif » et « négatif » et parce que Benjamin Franklin choisit d'appeler négatifs les corps que nous savons avoir un excès d'électrons, l'électron est défini aujourd'hui comme ayant une charge négative. Franklin avait deviné, sans qu'il ait pu réellement démontrer le fait par des expériences, que les charges positives et négatives apparaissent toujours simultanément en quantités parfaitement égales. Partant de là, il suggéra que quelque chose qu'il nomma le « feu électrique » se retrouve en quantité normale dans la matière neutre ou non électrisée ; que cet excès sur la quantité normale d'électricité apparaît comme une charge positive, et une charge inférieure à la quantité normale, comme une charge négative. Si nous intervertissons les adjectifs « positive » et « négative » et si nous remplaçons le « feu électrique » par « électrons » dans cette théorie, nous y retrouvons essentiellement la théorie moderne.

Franklin combina théorie et pratique ; il fut le premier à démontrer la similitude existant entre l'éclair et cette réaction mystérieuse produite en frottant de l'ambre ou du verre. Il y parvint au moyen de la fameuse expérience du cerf-volant qui se déroula à Philadelphie. Dans une lettre datée du 19 octobre 1752, adressée à son ami Peter Collinson, membre de la Royal Society, Franklin fournit tous les détails concernant cette simple (mais dangereuse) expérience :

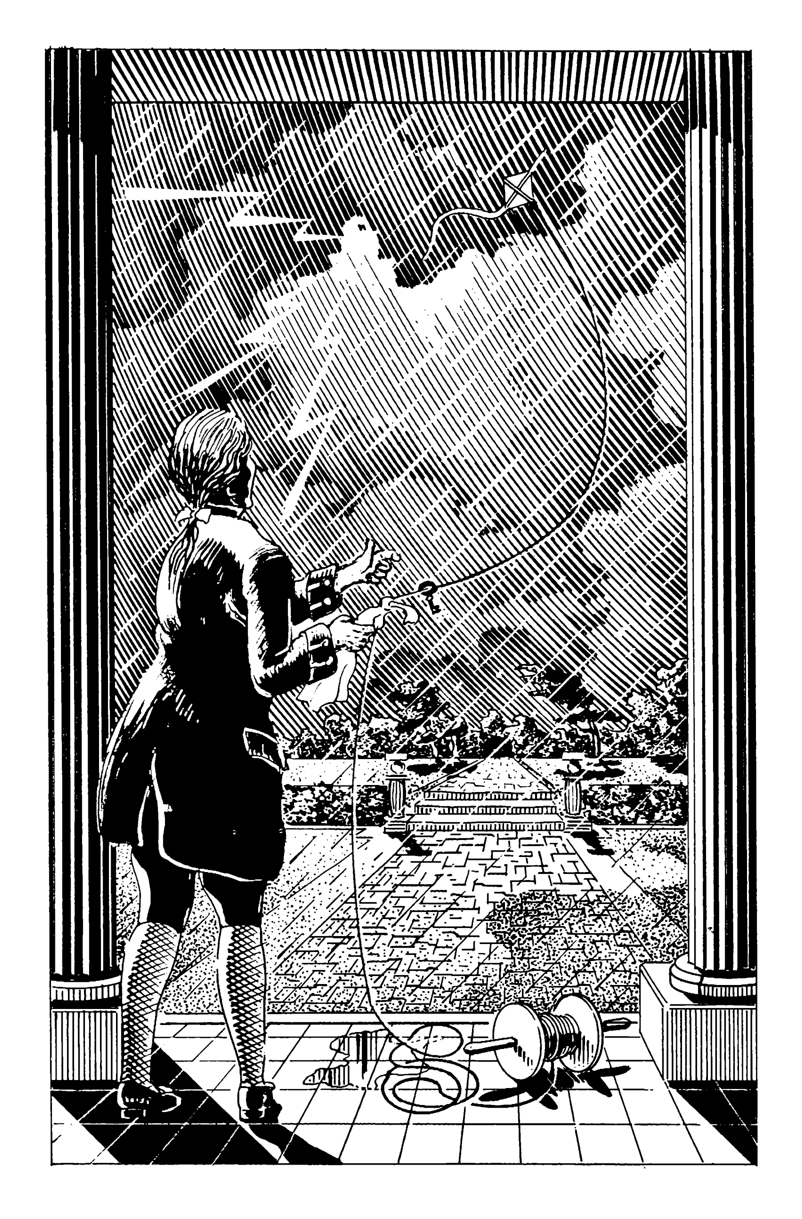


Figure 2. Par temps d'orage, Benjamin Franklin soutire le « feu électrique » des nuages au moyen d'un cerf-volant en papier.

« Construisez une petite croix avec deux baguettes de cèdre, les bras étant assez longs pour atteindre les quatre coins d'un grand mouchoir de soie très fin ; attachez les coins du mouchoir aux extrémités de la croix : vous avez un cerf-volant ; lorsque celui-ci sera convenablement équipé d'une queue, d'une boucle, et d'une ficelle, vous le lancerez dans les airs comme un cerf-volant en papier ; mais celui-ci étant de soie, il est plus susceptible de supporter l'humidité et de s'élever au milieu d'un orage sans se déchirer. Au sommet de la baguette verticale de la croix, il faut fixer une tige très pointue, dépassant la baguette d'un pied ou plus. A l'extrémité de la ficelle, du côté de la main, attachez un ruban de soie, et à l'endroit où la soie et la ficelle se rejoignent, fixez une clé. Il faut maintenant lancer ce cerf-volant quand le temps est orageux et la personne qui tient la ficelle doit se tenir dans l'embrasure d'une porte, à une fenêtre, ou en un endroit couvert, de façon que le ruban ne soit pas mouillé. La ficelle ne doit pas toucher l'encadrement de la porte ni de la fenêtre. Quand un nuage orageux atteint le cerf-volant, la tige pointue en absorbe le feu électrique et le cerf-volant, comme toute la ficelle, sera électrisé. Les morceaux flottants de la ficelle vont s'écarter et seront attirés lorsqu'on approchera un doigt. Lorsque la pluie aura mouillé le cerf-volant et la ficelle, de sorte qu'ils pourront conduire le feu électrique sans difficulté, vous constaterez que celui-ci jaillit abondamment lorsque vous approchez le doigt ; et avec le feu électrique ainsi obtenu, des petits feux peuvent être allumés. De même, on peut réaliser toutes les expériences électriques nécessitant d'habitude un tube ou un globe en verre électrisé, et, de ce fait, l'identité de la matière électrique avec celle de l'éclair est complètement démontrée. » (Voir fig. 2.)

Il faut aussi porter au crédit de Benjamin Franklin la première application pratique de l'électricité, puisqu'il la fit littéralement descendre sur terre par l'invention du paratonnerre en 1753. Bien qu'aucune expérience ne lui ait fourni la moindre indication sur la nature granulaire de l'électricité, il eut une remarquable inspiration quand il dit : « La matière électrique se compose de particules extrêmement minuscules, puisqu'elles peuvent traverser la matière ordinaire, même la plus dense, avec une telle liberté et avec tant d'aisance qu'on dirait qu'elles ne rencontrent aucune résistance appréciable. »

Ainsi, Franklin fut le premier à attirer l'attention sur la structure physique et sur les propriétés de ce mystérieux « fluide électrique », quoiqu'il n'eût jamais rêvé de voir un jour des particules séparées, poursuivies, isolées et mesurées par des savants.

La théorie de Franklin d'une électricité composée d'un seul fluide semble avoir été oubliée ou ignorée durant plus d'un siècle et la théorie des deux fluides devint fort à la mode parmi les savants du XVIIIe siècle. Cette théorie considérait comme admise l'existence de deux fluides n'ayant aucun poids et qui agissaient respectivement comme électricité négative et électricité positive. La matière dans un état neutre contenait des quantités égales de ces fluides mais se chargeait positivement ou négativement selon que l'un ou l'autre était en excès. Cette théorie pouvait être appliquée logiquement pour expliquer le comportement observable des corps électrisés mais c'était un pas en arrière par rapport à la théorie beaucoup plus simple de Franklin. Au surplus, elle avait pour effet d'opérer un divorce entre électricité et matière. Comme Thomson le remarquait dans ses conférences consacrées à Silliman en 1903 : « Les physiciens et les mathématiciens qui faisaient le plus de recherches pour développer les théories des fluides... raffinaient et idéalisaient leurs conceptions au point que n'importe quelle référence aux propriétés physiques réelles de ces fluides était presque considérée comme inconvenante. »

L'électricité, tout comme le magnétisme, furent contraints de demeurer de mystérieux fluides invisibles, jusqu'à ce que des méthodes pour les mesurer avec une précision acceptable soient mises au point. Comme cela arrive souvent en matière de science et de technique, ce fut l'invention d'un nouvel instrument qui permit de réaliser le bond suivant sur la route du progrès. Cet instrument nouveau, la balance à torsion, fut inventé indépendamment par Mitchell en Angleterre vers 1770, et par Coulomb, en France, environ dix ans après. Le principe fondamental de la balance à torsion réside dans l'utilisation d'une aiguille aimantée suspendue à un fil fin (voir fig. 3).

C'est avec un appareil de ce type qu'en 1771 le physicien et chimiste anglais Henry Cavendish découvrit la loi d'attraction entre deux corps chargés. Coulomb fabriqua une balance à torsion très sensible qui lui permit de réaliser des mesures

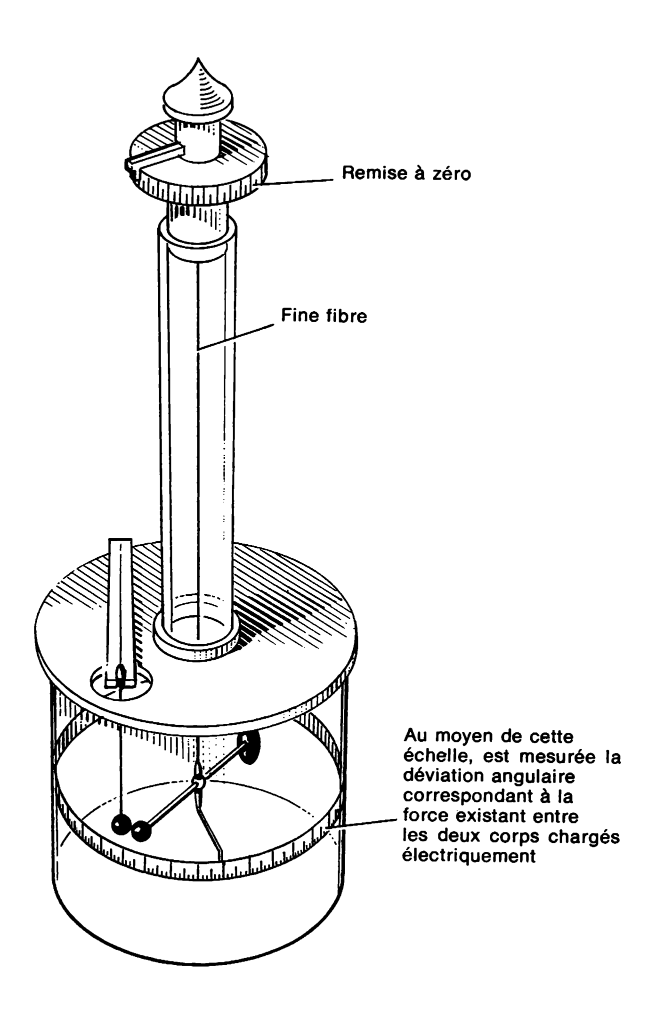


Figure 3. La balance à torsion : elle permet de mesurer avec précision les forces existant entre deux corps chargés électriquement.

beaucoup plus précises que Cavendish, mesures dont il publia les résultats détaillés en 1785. Celles-ci mirent en lumière le fait que, comme la force de gravité, l'action du fluide électrique, qu'il soit répulsif ou attractif, varie inversement au carré de la distance séparant les deux corps.

Coulomb vit son œuvre récompensée : son nom fut donné à l'unité de charge électrique. Avec son génie de la mesure scientifique, il aurait été ravi d'apprendre que la charge d'un électron est si petite qu'il en faudrait 20 millions de millions de millions (2×10^{19}) pour atteindre la charge d'un coulomb, c'est-à-dire approximativement la quantité d'électricité traversant le filament d'une lampe de 100 watts en deux secondes.

Un progrès considérable dans la science de l'électricité fut rendu possible grâce à l'invention vers 1800, de la première « pile » ou batterie électrique, par un professeur de physique italien, Alessandro Volta. Il découvrit que l'on peut produire de l'électricité grâce à la mise en contact de surfaces humidifiées de deux métaux différents. Volta décrivit son invention dans une lettre du 20 mars 1800 à Sir Joseph Banks, président de la Royal Society : « Oui ! L'appareil dont je parle, et qui sans aucun doute vous étonnera, est uniquement un assemblage d'une série de bons conducteurs de différentes sortes, arrangés d'une certaine manière. Trente, quarante, soixante pièces ou plus, en cuivre, ou mieux, en argent, chacune en contact avec une pièce d'étain, ou mieux, de zinc, et un nombre égal de couches d'eau ou d'un autre liquide meilleur conducteur que l'eau pure, comme l'eau salée ou une solution alcaline, ou encore des pièces de carton ou de cuir, etc., qui absorbent bien ces liquides ; lorsque de telles couches sont interposées entre chaque couple ou association de deux métaux différents, une telle série alternée de ces trois sortes de conducteurs toujours placés dans le même ordre constitue mon nouvel appareil. » (Voir fig. 4.)

Volta soulignait la supériorité de cette source d'électricité sur les autres moyens disponibles alors, tels que les bouteilles de Leyde ou les appareils à friction. En effet, son engin « ne nécessite pas, comme les autres, d'être chargé à l'avance au moyen d'une source extérieure ; et il peut produire son effet chaque fois que l'on veut, aussi souvent que l'on veut ».

La batterie primitive de Volta a été la première source d'énergie électrique continue et sûre. Grâce à elle, le physicien italien

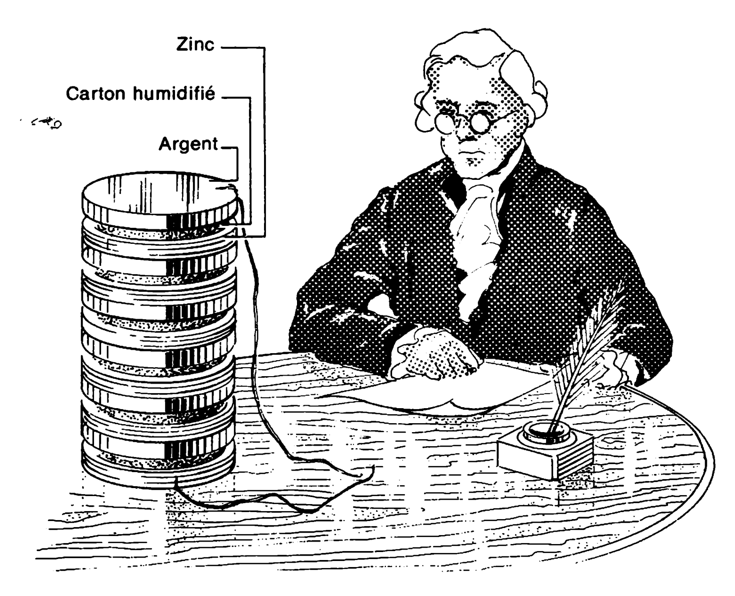


Fig. 4. La batterie de Volta : la première source d'électricité vraiment pratique.

possédait le moyen de perfectionner la technique de la mesure de l'électricité dynamique (par exemple, le courant électrique se déplaçant le long d'un fil). Cette électricité est bien distincte de l'électricité statique des corps chargés.

L'importante contribution de Volta aux recherches sur l'électricité et sur l'électrochimie fut officiellement reconnue en 1893 lorsque son nom fut donné à l'unité de force électromotrice : le volt. Cependant, bien que la pile voltaïque ait marqué le début d'un développement général de la technologie de l'électricité, en ce début du XIXe siècle, il n'existait encore aucune théorie sur la nature granulaire de l'électricité.

La première preuve expérimentale que le fluide électrique est composé par des particules n'a été fournie qu'en 1833. Cette découverte est due à Michael Faraday, un génial expérimentateur, qui débuta dans la vie comme garçon de courses chez un

relieur, et fut élu à la Royal Society alors qu'il n'avait que trente-trois ans. Il mit en lumière que, pour une quantité donnée d'électricité traversant une solution de n'importe quel composé d'hydrogène, une même quantité d'hydrogène gazeux apparaît à la borne négative. La quantité d'électricité, qui libère un gramme d'hydrogène de la solution, dépose en outre exactement 107,05 grammes d'argent (dans le cas d'un composé d'argent). Or, puisque le poids d'un atome d'argent est 107,05 fois plus élevé que celui d'un atome d'hydrogène, il était tout à fait logique de déduire qu'en solution, l'atome d'argent et l'atome d'hydrogène sont associés à la même quantité d'électricité. Faraday découvrit aussi que tous les atomes qui se combinent avec un atome d'hydrogène — baptisés atomes monovalents — transportent une quantité égale d'électricité et que les atomes qui se combinent avec deux atomes d'hydrogène transportent exactement deux fois cette quantité.

A partir de ses découvertes, Faraday ne parvint pas à conclure que l'électricité se compose de particules séparées. Par une ironie du sort, Faraday lui-même fut à l'origine de la nouvelle tendance du XIXᵉ siècle qui se représentait l'électricité comme résultant des tractions et contractions du milieu environnant le corps électrisé. Puisqu'il ne pouvait admettre l'idée d'une action à distance, il dota de propriétés physiques le milieu entre les deux corps séparés où l'on constate une attraction ou une répulsion soit électrique, soit magnétique. Ces propriétés étaient analogues à celles d'une substance élastique dans laquelle une force appliquée en un point se transmet aux autres parties grâce à une déformation progressive de la matière. Toutefois, il était facile de démontrer que les forces électriques et magnétiques agissent dans le vide, de sorte que l'on estima nécessaire d'inventer un « éther » universel et impalpable occupant l'entièreté de l'espace, à travers lequel ces forces pouvaient agir. Tout comme les lignes de forces que Faraday imaginait entourant les corps électrisés ou magnétisés, l'éther constituait une fiction mathématique pratique qui fut maniée avec grande virtuosité par Clerk Maxwell pour établir les lois de l'électromagnétisme. Mais cette fiction détourna l'attention de la vraie nature de l'électricité.

Presque un demi-siècle s'écoula avant que les véritables implications des brillantes découvertes de Faraday soient dégagées. En 1881, Helmholtz, dans ses conférences sur Faraday à la Royal

Institution déclarait : « Dès lors, le résultat le plus saisissant de la loi de Faraday est peut-être que si nous acceptons l'hypothèse d'après laquelle les substances élémentaires sont composées d'atomes, nous ne pouvons éluder la conclusion que l'électricité aussi, positive comme négative, est divisée en des portions élémentaires définies qui se comportent comme des atomes d'électricité. »

Cet exposé semble anticiper les découvertes de Thomson, mais Helmholtz n'était pas du tout certain que sa thèse puisse s'appliquer aux métaux conducteurs et à la conduction à travers les gaz ou à travers les liquides électrolytiques. Il était prêt à considérer les atomes chargés des corps composés en solution (les ions, comme nous les appelons maintenant) comme transportant une ou plusieurs charges, ou positives ou négatives. Cependant, il n'envisageait manifestement pas l'idée d'« atomes » d'électricité se déplaçant le long d'un fil ou à travers un métal solide. Parmi les meilleurs savants de l'époque, plusieurs, y compris Lord Kelvin, n'acceptaient pas la conception atomique de l'électricité et le point de vue dominant à la fin du XIXe siècle était plus éloigné de notre conception moderne que la théorie d'un fluide unique de Franklin. La plupart des savants souscrivaient à l'idée que la matière était composée d'un nombre limité de différentes espèces d'atomes extrêmement petits mais néanmoins vraiment indivisibles. Personne ne soupçonnait que ces petits atomes étaient composés de particules beaucoup plus petites porteuses d'électricité positive ou négative.

Malgré le doute subsistant, il fallait apporter expérimentalement la preuve certaine de l'existence de cet insaisissable électron d'où découlerait la nature granulaire de l'électricité. Cette preuve fut donnée par les recherches sur la décharge de l'électricité à travers les gaz, et principalement par l'œuvre de Thomson au laboratoire Cavendish (le laboratoire de physique de l'université de Cambridge, conçu et équipé par Maxwell en 1874).

En 1838, Faraday avait noté le phénomène de phosphorescence accompagnant la décharge d'un courant électrique à travers une enceinte dans laquelle on a pratiqué un vide partiel. Toutefois, ce ne fut pas avant 1869 qu'un travail très fouillé sur ce sujet fut mené à bien, spécialement par Geissler et Hittorf en Allemagne. En 1869, Hittorf démontra que le courant, qui s'établit

entre deux électrodes placées dans un récipient en verre où l'on a pratiqué le vide d'air, circule en ligne droite et provoque l'illumination lorsqu'il frappe la paroi de verre du récipient. Si un obstacle solide est placé sur le chemin du courant qui émane de l'électrode négative, ou *cathode**, une « ombre » se projette sur la paroi où se produit la phosphorescence. Si un obstacle similaire est placé sur le chemin en direction de l'électrode positive, ou anode, aucune ombre ne se forme. Ainsi, les rayons se déplacent selon un sens unique : de la cathode à l'anode, et jamais en sens inverse ; ils furent en conséquence baptisés rayons cathodiques (voir fig. 5). Les savants allemands pensaient que les rayons cathodiques étaient des ondes électromagnétiques semblables aux ondes lumineuses, mais d'une *longueur d'onde** différente.

En Angleterre, Varley et Crookes découvrirent que, lorsqu'ils plaçaient le tube à décharge entre les pôles d'un aimant puissant, les rayons cathodiques étaient déviés de leur direction d'origine (voir fig. 6). Les ondes électromagnétiques ne se comportent pas de cette façon et il commença à apparaître que les rayons cathodiques sont formés de particules chargées. En 1879, Crookes en décrivant ses expériences prédit avec une justesse étonnante : « Les phénomènes se déroulant dans ces tubes où l'on a fait le vide, ouvrent un monde nouveau à la physique, un monde où la matière existe sous un quatrième état... En étudiant ce quatrième état de la matière, nous semblons avoir à notre portée et soumis à notre contrôle, les minuscules particules indivisibles dont on a de sérieuses présomptions de penser qu'elles constituent la base physique de l'univers. »

Dès la dernière décade du XIXe siècle, partout dans le monde, des savants discutaient avec passion des rayons cathodiques, et l'on passa à la phase de mesures quantitatives de leurs caractéristiques. Les instruments et les techniques disponibles pour procéder à ces études avaient fait de grands progrès grâce à l'avancement parallèle de la science pure et de la technique. La technique du vide avait atteint un degré de perfectionnement élevé et de puissants champs électromagnétiques pouvaient être engendrés en faisant passer des courants intenses à travers des bobines de fil conducteur. En 1890, Arthur Schuster, professeur de physique à l'université de Manchester, procéda à des mesures sur ces rayons. Présumant qu'ils étaient composés de particules chargées, il en

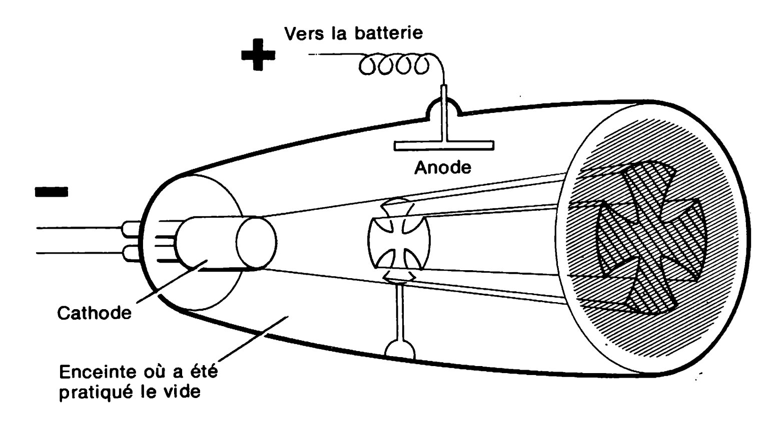


Figure 5. Une ombre produite par les électrons : un obstacle placé sur le chemin du faisceau d'électrons émis par la cathode d'un tube où a été pratiqué un vide poussé projette une ombre sur l'écran fluorescent.

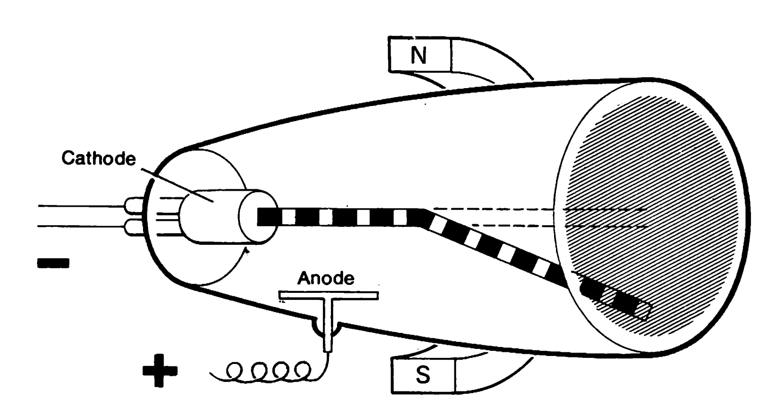


Figure 6. Les rayons cathodiques sont déviés par un aimant.

déduisit que la déviation de ces rayons dans un champ magnétique dépend de trois facteurs principaux : plus leur charge est élevée, plus puissant est l'effet de l'aimant et plus grande est leur déviation ; plus leur masse est importante, plus leur inertie s'oppose à leur déviation ; et plus leur vitesse est élevée, plus ils peuvent être déviés. Une mesure intéressante à établir était le rapport de la charge à la masse, ce rapport pourrait alors être comparé au nombre déjà connu se rapportant à une particule atomique : celui de l'ion d'hydrogène dans une électrolyse. Pour les particules émises par la cathode, Schuster trouva un rapport 500 fois plus grand que dans le cas de l'ion d'hydrogène. Il ne pouvait imaginer qu'il existe des particules plus petites que les atomes et, en conséquence, il émit l'hypothèse que les rayons cathodiques se composaient d'atomes très fortement chargés. Mais Hertz, le grand physicien allemand démontra, en 1892, que l'épaisseur réduite des fines feuilles métalliques que les rayons cathodiques peuvent traverser, écarte la possibilité qu'elles soient des particules aussi grosses que des atomes. En 1895, Jean Perrin en France apporta la preuve qu'un corps conducteur se charge négativement lorsqu'il est frappé par des rayons cathodiques.

Ce fut J.J. Thomson qui, en 1897, conçut le premier l'idée de soumettre les rayons cathodiques à une déviation produite simultanément par un champ magnétique et un champ électrique, de façon que leur vitesse puisse être aussitôt déterminée (quoique l'idée semble être venue indépendamment à Weichert, en Allemagne). Connaissant leur vitesse, Thomson était alors capable de déduire le rapport de la charge des particules cathodiques à leur masse à partir de leurs déviations dans les champs électrique et magnétique combinés ; il établit que ce rapport est 1 800 fois plus grand que dans le cas de l'atome d'hydrogène (voir fig. 7). Ces calculs convainquirent Thomson que les rayons pouvaient ne pas être des atomes électriquement chargés, mais se composaient de particules chargées, beaucoup plus légères. Dans un article paru en 1897 dans le *Philosophical Magazine,* Thomson exposa comment ses expériences tranchaient la controverse des écoles « éthérée » et « corpusculaire » entre lesquelles étaient divisés les grands physiciens de l'époque : « Si, dans le champ électrique très intense produit aux environs de la cathode, les molécules d'un gaz sont dissociées et brisées — non pour former

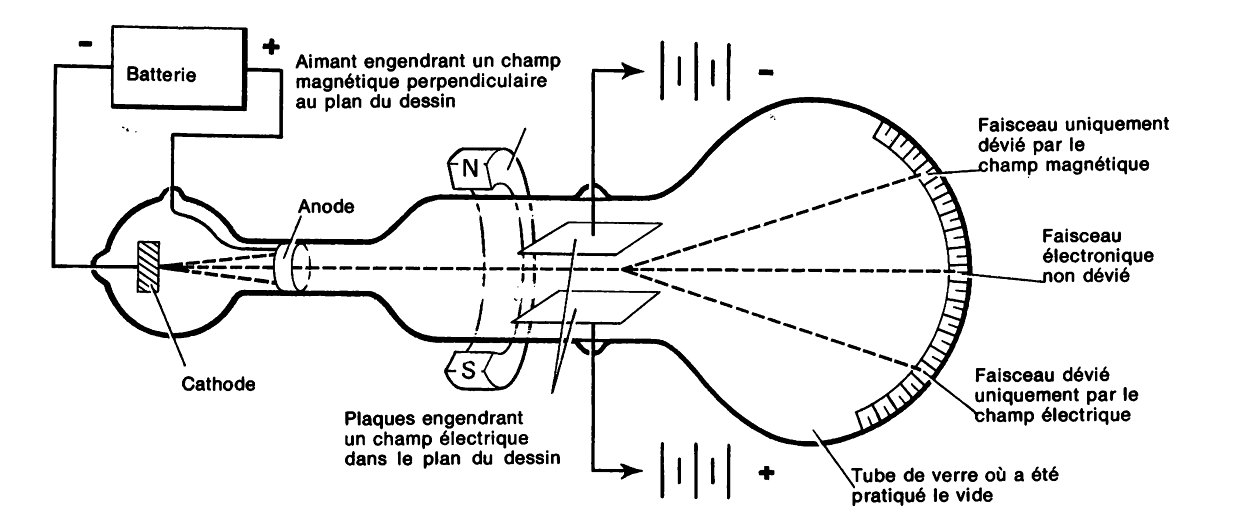


Figure 7. Méthode employée par J.J. Thomson pour mesurer le rapport de la charge à la masse des particules émises par la cathode.

des atomes chimiques ordinaires, mais ces atomes élémentaires que nous appellerons corpuscules pour abréger — et si ces corpuscules sont chargés d'électricité et projetés à partir de la cathode par le champ électrique, ils se comportent exactement comme les rayons cathodiques... Ainsi dans cette optique, nous avons, dans le cas des rayons cathodiques, de la matière sous un nouvel état : un état où la subdivision de la matière est menée beaucoup plus loin que dans l'état gazeux ordinaire ; un état dans lequel toute matière — c'est-à-dire de la matière provenant de différentes sources telles que l'hydrogène, l'oxygène, etc. — est unique et de la même espèce ; cette matière étant la substance avec laquelle sont constitués tous les éléments chimiques. »

Thomson rendit compte de ces résultats à la Société de physique Cavendish, un groupement nouvellement formé qui menait, tous les quinze jours, des débats sur des travaux récents, et déclara : « Les rayons cathodiques sont des particules d'électricité négative. » C'est à cette occasion que Thomson utilisa pour la première fois le mot « électron », (nom qui avait déjà été proposé par Johnston Stoney de Dublin, en 1891, pour l'élément d'électricité) pour décrire ces particules.

Deux mille cinq cents ans après que Thalès les ait amorcées, les longues recherches sur les « ultimes particules composant le monde » avaient engendré leur premier enfant : l'électron.

Chapitre 2

LA REVOLUTION SCIENTIFIQUE

La découverte de l'électron a exercé une influence profonde sur la physique. Les savants du XIXe siècle vivaient dans un monde mécaniste solidement basé sur les lois de l'attraction universelle découvertes par Newton, lois selon lesquelles toute cause est suivie d'un effet, comme la nuit est suivie du jour, et où la matière est constituée de particules solides, immuables, semblables à des billes de billard miniature. Le principe du rayonnement avait été expliqué avec brio par Clerk Maxwell comme étant la perturbation d'une onde qui se propage — selon les lois bien établies de la mécanique — à une vitesse très grande mais limitée, à travers un éther élastique. Quand, en 1887, Hertz démontra qu'un rayonnement produit électriquement est de même nature que la lumière, cette révélation fut accueillie comme une preuve supplémentaire des structures mécaniques fondamentales des choses, bien que pour les physiciens modernes cette preuve n'en soit pas une.

Cette croyance en un médium universel aux propriétés mécaniques bien définies, dans lequel baignait tout l'univers, était tellement solide que quelques savants consacrèrent leur vie à en déterminer les caractéristiques. La fameuse expérience de Michelson-Morley, réalisée pour la première fois en 1887, fut imaginée dans le but de mesurer le mouvement de la Terre à travers l'éther. Quand elle montra qu'aucun mouvement de cette espèce ne pouvait être détecté, elle jeta la consternation parmi les tenants de la science officielle. Cependant, la découverte de l'électron et la théorie des quanta qui la suivit — et qui traite de l'interaction entre les électrons et les radiations — firent finale-

ment crouler cette conception mécaniste de la nature et donnèrent le branle à une nouvelle conception de la science.

Beaucoup de savants eurent d'abord quelque répugnance à

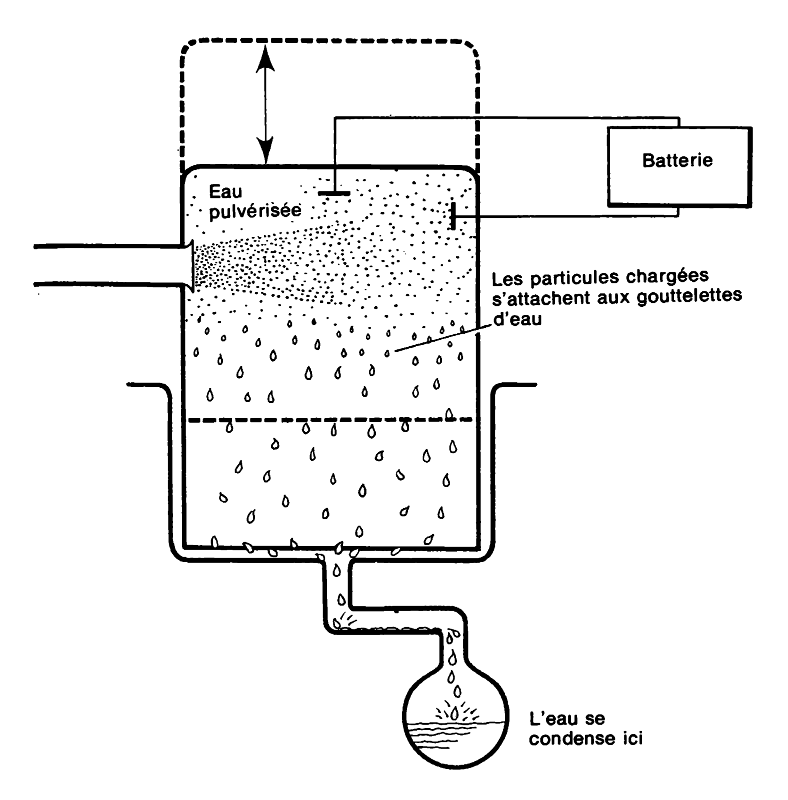


Figure 8. Schéma montrant le principe de la chambre à condensation de Wilson dans laquelle de très petites charges électriques peuvent être mesurées grâce au fait qu'elles se fixent aux gouttelettes d'eau.

admettre la découverte par Thomson d'une particule dont la masse était moindre que celle d'un atome d'hydrogène, l'atome le plus léger connu alors. Mais ce résultat devait être confirmé de nombreuses fois au moyen d'un appareillage de plus en plus

précis et perfectionné, par les laboratoires de physique les plus réputés du monde entier. En 1896, l'invention de la chambre de condensation par C.T.R. Wilson, professeur de physique à l'université de Cambridge, marqua un progrès considérable en ce qui concerne la mesure des particules chargées (voir fig. 8). Dans cet ingénieux appareil, les particules chargées se fixent à des gouttelettes d'eau, lesquelles tombent alors en pluie artificielle au fond de la chambre. Les charges accumulées dans l'ensemble des gouttelettes d'eau sont mesurées par un électroscope et les dimensions d'une goutte d'eau moyenne sont calculées grâce à sa vitesse de chute conditionnée par la résistance de l'air. On peut alors calculer le nombre total de gouttelettes en pesant toute l'eau tombée et les chiffres ainsi recueillis permettent de déduire la charge de chaque gouttelette. En 1899, Thomson utilisa la chambre à condensation de Wilson pour établir que la charge d'un électron est la même que celle d'un ion d'hydrogène obtenu, par exemple, par l'électrolyse de l'eau. Puisque le calcul du rapport de la charge de l'électron à sa masse ne pouvait être contesté, le rapprochement des deux mesures fournit une valeur certaine pour la masse. Thomson calcula que la masse de l'électron est 1/1800e de celle d'un atome d'hydrogène.

Durant les premières années du XXe siècle, le physicien américain R.A. Millikan conduisit une magnifique série d'expériences très précises afin de déterminer la charge de l'électron (voir fig. 9). Il communiqua de petites charges électriques à des gouttelettes d'huile flottant dans un nuage d'huile pulvérisée soumis à un champ électrique intense. Une observation attentive de la vitesse à laquelle les gouttelettes se déplaçaient à l'intérieur du champ montra que les charges des gouttelettes ne variaient jamais de manière continue, mais toujours par paliers, et étaient toujours des multiples de la plus petite des variations observées. Cette valeur de la charge la plus petite fut donc reconnue comme étant celle d'un simple électron. Un grand nombre de mesures ultérieures permirent d'établir avec une certitude suffisante la valeur de la charge d'un électron. On aura une idée de la précision de la technique de Millikan lorsqu'on saura qu'il pouvait peser, et avec exactitude, un dix-mille millionième de milligramme, alors que la plus sensible des balances mécaniques ne pouvait peser en dessous d'un millionième de milligramme. Les résultats obtenus par Millikan indiquèrent que la masse d'un

électron est 1/1835e de celle d'un atome d'hydrogène. Des mesures aussi probantes finirent par convaincre les plus sceptiques de l'existence de particules plus petites que les atomes.

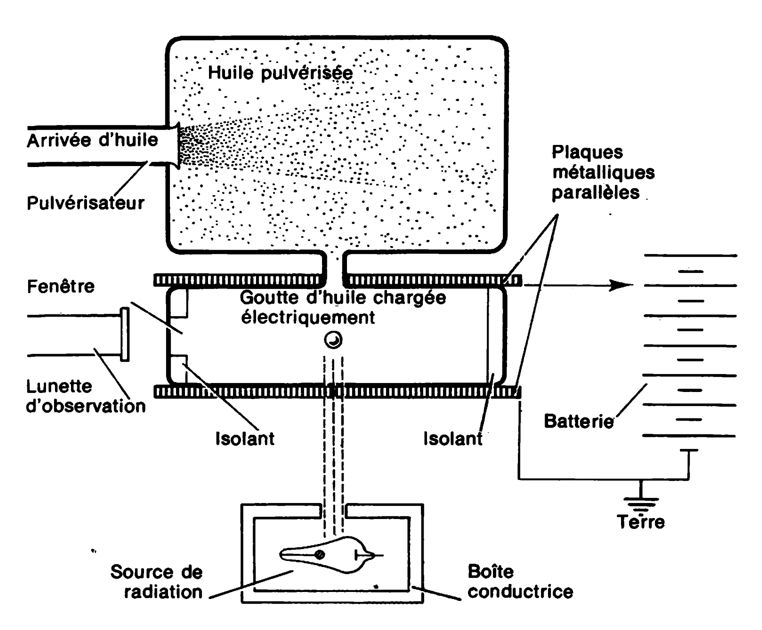


Figure 9. Technique employée par Millikan pour mesurer la charge d'un électron. La goutte d'huile peut être observée à travers la lunette et ses déplacements au sein d'un champ électrique d'intensité connue permettent de déduire la valeur de sa charge électrique.

La découverte des rayons X

L'intérêt soulevé dans le monde scientifique par le phénomène se produisant dans les tubes à décharge, et qui conduisit à la découverte de l'électron, amena également celle des rayons X ; plusieurs expérimentateurs avaient noté, non sans quelque contrariété, que des plaques photographiques situées à proximité de

tubes à décharge s'étaient voilées. Cette constatation excita la curiosité du professeur Röntgen de l'université de Würzburg, en Allemagne, et, en 1895, celui-ci fabriqua un tube à rayons cathodiques, contenant une cible métallique destinée à intercepter les rayons cathodiques. Quand le tube fut mis sous tension, un écran recouvert d'une matière fluorescente, situé *hors* du tube, commença à émettre une faible lueur. Celle-ci ne pouvait être due aux rayons cathodiques, réputés incapables de traverser l'enveloppe du tube en verre épais. Il devait donc exister une autre sorte de rayonnement. Et Röntgen découvrit que ces radiations pouvaient traverser un livre de 1 000 pages, la chair de sa main et de fines feuilles métalliques ; par contre, elles étaient complètement arrêtées par un blindage métallique de 1,5 millimètre. Vers 1895, les tubes à rayons cathodiques étaient déjà bien au point, et des pompes à vide de grande efficacité étaient disponibles de sorte que Röntgen put démontrer que, plus le vide dans le tube est poussé, plus les radiations sont pénétrantes. Il baptisa ces radiations : les rayons X.

En 1912, les physiciens allemands Laue, Friedrich et Knipping démontrèrent que les rayons X se composent d'ondes électromagnétiques d'une longueur d'onde beaucoup plus courte que celle de la lumière. Les rayons X devaient trouver bientôt de nombreuses applications dans les diverses branches de la science pure comme dans celles de la science appliquée. Immédiatement après leur découverte, la propriété la plus intéressante qu'on leur reconnut est de rendre conducteur d'électricité tout gaz qu'ils traversent. Ils décomposent les atomes du gaz en ions positifs et en électrons qui peuvent alors aisément être étudiés.

La radioactivité

Un an après que Röntgen eut détecté pour la première fois les rayons X, la radioactivité fut découverte par Henri Becquerel à Paris. Becquerel, stimulé par la découverte de Röntgen, plaça une boîte de plaques photographiques dans un tiroir avec l'intention de les utiliser pour des recherches sur les rayons X. Or, le tiroir contenait également du minerai d'uranium. Becquerel fut

stupéfait de constater que les cristaux avaient produit une image sur les plaques, quoiqu'elles fussent emballées dans deux épaisses feuilles de papier noir. Cet heureux accident conduisit Becquerel à mener toute une série d'expériences fort simples, qui montrèrent que les radiations émises par l'uranium ne sont pas de courte durée. Toutefois, il ne put déterminer de quelle manière ces radiations étaient engendrées.

A partir de la découverte de Becquerel, Pierre et Marie Curie entreprirent un travail ardu auquel ils se consacrèrent corps et âme durant deux ans dans les conditions les plus difficiles. Ils réussirent, en 1899, à extraire de très petites quantités d'éléments radioactifs — ultérieurement baptisés radium et polonium — de plusieurs tonnes de pechblende. Ils constatèrent que l'uranium possédait une radioactivité de plus d'un million de fois supérieure à celle du radium.

Tandis que, à Paris, les Curie dépistaient et isolaient les éléments radioactifs, un jeune Néo-Zélandais, Ernest Rutherford, s'attacha à relever le défi que constituait la nature inconnue de la radioactivité. Vers 1899, il avait établi qu'il existe deux sortes de rayons dans les émanations provenant de l'uranium, et les baptisa « alpha » et « bêta ». Les rayons bêta qui sont environ une centaine de fois plus pénétrants que les rayons alpha, furent étudiés en 1899 par Geisel, Curie, Becquerel et bien d'autres encore, en utilisant la technique employée deux ans auparavant par Thomson pour mesurer la charge de l'électron. Ces rayons bêta se révélèrent être des éléctrons animés de très grandes vitesses, lesquelles s'approchaient de celle de la lumière. En 1900, on découvrit que le radium émet un type de radiation encore plus pénétrante que les rayons bêta, et qui fut appelée « rayon gamma » (voir fig. 10).

Vers 1903, Rutherford, travaillant avec Frederick Soddy à l'université Mac Gill au Canada, avait découvert que les rayons alpha sont des particules chargées positivement, se déplaçant à de très grandes vitesses. En 1906, il fit ressortir de ses expériences que la masse de chaque particule est de plus de 7 000 fois supérieure à celle de l'électron, à cette différence près qu'elle est positive au lieu d'être négative. Trois ans après, il prouva que les rayons alpha se composent de noyaux d'atomes d'hélium, atomes d'hélium dont les électrons ont été enlevés laissant le noyau doté d'une double charge positive.

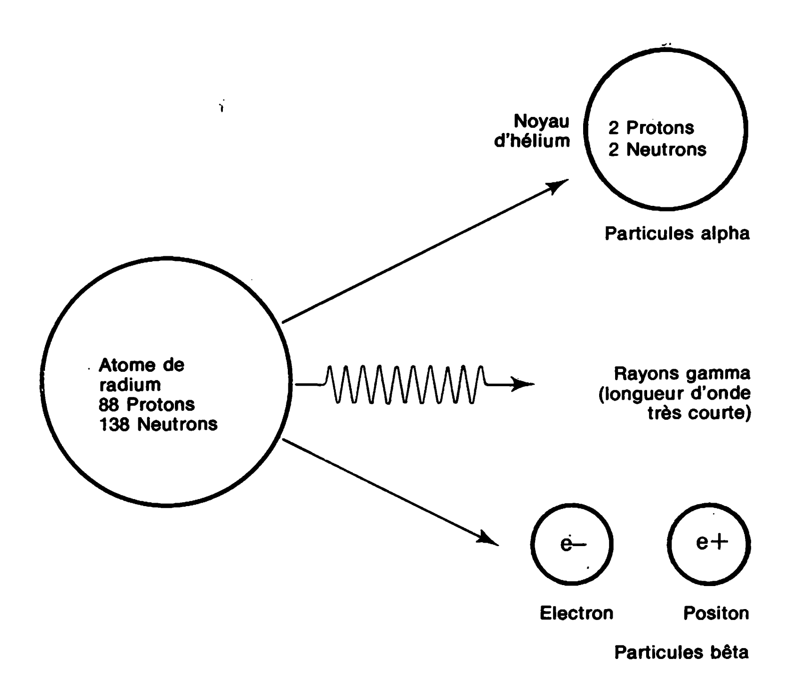


Figure 10. Voici comment peut se décomposer un atome de radium.

Les rayons gamma, très pénétrants, n'étaient déviés ni par un champ électrique ni par un champ électromagnétique et ils se montrèrent très difficiles à identifier, mais il fut finalement démontré qu'ils se composent d'ondes électromagnétiques de très courte longueur d'onde, plus courte que les rayons X et inférieure à un cent millième de la longueur d'onde de la lumière visible. Rutherford joua un rôle prépondérant, non seulement en établissant la nature des émanations radioactives, mais aussi en montrant la façon dont les atomes radioactifs se décomposent spontanément en des atomes plus stables et plus légers tout en émettant des rayons alpha, bêta et gamma.

A peine dix ans après la découverte de l'électron, l'indestructibilité des atomes élémentaires se révéla être un mythe et la science du XX[e] siècle entama son incursion décisive dans ce monde agité de l'atome.

La théorie des quanta

Durant l'année 1900, tandis que Thomson et Rutherford commençaient à prendre les mensurations de l'atome, une communication fut faite par Max Planck, professeur de physique théorique à Berlin, à la Société de physique de cette ville. Cette communication s'est révélée aussi révolutionnaire en physique mathématique que l'annonce de la découverte de l'électron l'avait été en physique expérimentale. Dans sa communication, Planck avançait que : « La chaleur irradiée n'est pas un flux continu et indéfiniment divisible. Ce flux peut se définir comme étant une masse discontinue composée d'éléments similaires les uns aux autres. » Il s'agissait là d'une affirmation renversante ! A l'époque où elle fut conçue, cette idée que l'énergie ne serait absorbée ou émise par un fragment de matière que par « petits paquets » d'énergie bien définis et non de manière régulière, semblait violer à la fois le bon sens et les connaissances scientifiques. Mais Planck estimait sa théorie nécessaire pour expliquer comment les faisceaux de radiations — tel que le rayonnement sortant du trou d'une boule métallique chauffée jusqu'à l'incandescence — étaient émis par un corps noir. Ce principe n'avait pas été contesté auparavant parce que les « petits paquets » d'énergie (ou éléments d'énergie) mis en cause étaient extraordinairement minuscules. Aussi normalement n'exercent-ils pas d'influence notable, mais lorsque interviennent des corps émetteurs ou des corps absorbants de la taille des atomes, il est nécessaire d'en tenir compte. La valeur de chaque « petit paquet » d'énergie ou « quantum » se révéla être une constante universelle de la nature, tout comme la charge de l'électron. Cette grandeur intervient non seulement dans le cas de la chaleur irradiée par un corps, mais aussi en ce qui concerne les orbites des électrons au sein des atomes, les effets photochimiques de la lumière, les longueurs d'onde des raies du spectre, la répartition des atomes dans un cristal, etc. On la baptise la « constante de Planck ». La constante de Planck, h, fut employée par son inventeur dans une formule d'une simplicité déconcertante.

quantum d'énergie = h × la fréquence,

formule qui montre que l'énergie requise dans n'importe lequel des nombreux genres d'événements périodiques prenant place dans le monde en vibration perpétuelle des atomes et des molécules, dépend de la fréquence de vibration.

La théorie de Planck était tellement révolutionnaire qu'il fallut longtemps pour que ses implications soient estimées à leur juste valeur (Planck n'obtint le prix Nobel qu'en 1919). Ce fut Albert Einstein qui, le premier, tira les conclusions révolutionnaires de cette découverte.

En 1905, lorsqu'il était encore un employé inconnu de l'Office fédéral des brevets, à Berne, Einstein appliqua les idées de Planck à l'effet photo-électrique, ce qui ne manqua pas de l'amener à bouleverser quelque peu les théories admises. L'effet photo-électrique avait d'abord été étudié par Lenard, un élève de Hertz, qui montra qu'un faisceau de lumière ultraviolette pouvait libérer des électrons d'une surface métallique qu'il heurte. L'effet est obtenu d'une autre manière lorsque la lumière ultraviolette ou les rayons X traversent un gaz et divisent des atomes en ions positifs et en électrons, de sorte que le gaz devient conducteur d'électricité. L'interprétation d'Einstein de l'effet photo-électrique était que, non seulement l'énergie de la lumière incidente agit par « paquets » séparés, ou quanta, suivant l'équation de Planck, mais que la lumière elle-même, et le rayonnement électromagnétique en général, se composent chacun de multitudes d'impulsions séparées. Chacune convoie un quantum d'énergie et voyage à la vitesse de la lumière. Les radiations de haute fréquence* peuvent être décrites comme une succession de balles tirées par une mitraillette tandis que les radiations de basse fréquence pourraient être représentées comme une balle tirée par un fusil (voir fig. 11).

La théorie selon laquelle toutes les radiations électromagnétiques sont composées de « petits paquets » — de photons*, comme on les appelle maintenant — semblait être en totale contradiction avec la théorie ondulatoire qui avait été solidement établie par Maxwell et cela apparaissait comme un retour à la vieille théorie corpusculaire de la lumière de Newton. Les physiciens étaient sceptiques. Mais Einstein prédit que des mesures précises de l'effet photo-électrique montreraient que si l'intensité de la lumière était accrue, le nombre d'électrons éjectés augmenterait, mais que leurs vitesses d'éjection ne s'élèveraient pas ; toutefois,

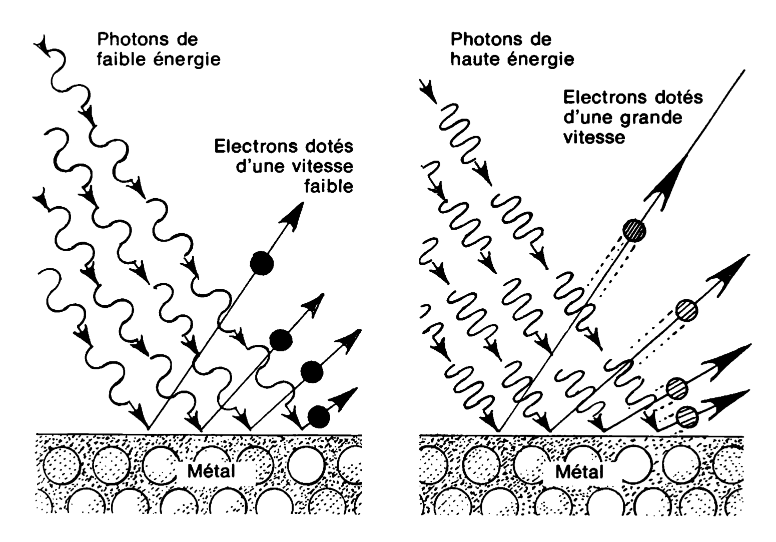


Figure 11. L'effet photo-électrique expliqué par la théorie des quanta.

si l'on augmentait la fréquence de la lumière, alors les vitesses d'éjection seraient accrues. Ceci était la confrontation directe de la théorie ondulatoire avec la théorie du photon. Le raisonnement est le suivant : si la lumière est composée de photons, l'accroissement de sa fréquence aurait pour conséquence d'augmenter l'énergie de chaque photon et l'énergie supplémentaire serait communiquée à l'électron éjecté, élevant ainsi sa vitesse. Si la lumière se comporte comme une onde, il ne faut pas s'attendre à ce que la fréquence provoque une différence dans les vitesses d'éjection des électrons. Des expériences ultérieures, spécialement celles conduites par Millikan en 1915, confirmèrent les prévisions d'Einstein. Ainsi, la théorie du petit employé de l'Office des brevets prit la place de la théorie bien au point et maintes fois vérifiée du grand Maxwell, théorie qui avait été une des principales colonnes soutenant l'édifice de la physique durant un demi-siècle.

La relativité et l'électron

Einstein n'était pas absorbé par l'effet photo-électrique au point de ne pouvoir donner naissance en 1905 à la théorie à laquelle nous associons son nom : la théorie de la relativité restreinte. Comme la théorie des quanta, elle constituait une tentative d'explication du comportement de la matière et de l'énergie tel qu'il était observé. Mais elle concernait l'infinité de l'univers, tout comme la théorie des quanta concernait le petit monde intérieur de l'atome. Cependant, la preuve expérimentale de l'exactitude de la théorie de la relativité fut fournie tout aussi bien par le comportement des électrons que par celui des étoiles.

Le principe clé de la théorie de la relativité est que tous les phénomènes physiques sont semblables pour un observateur se déplaçant à une certaine vitesse, tout comme ils le sont aussi pour un autre observateur se déplaçant à une autre vitesse. La nature ignore la notion de vitesse absolue ; elle ne connaît que la vitesse relative. Le mouvement de tout corps peut être évalué seulement par rapport aux autres corps, et la vitesse limite de tout corps dans l'univers est la vitesse de la lumière. Einstein démontra que l'on doit nécessairement déduire de sa théorie que la masse d'un corps dépend de son mouvement et s'accroît lorsque sa vitesse augmente. La masse croîtrait rapidement lorsque la vitesse s'approcherait de celle de la lumière et deviendrait (théoriquement) infinie si cette vitesse atteignait celle de lumière.

En 1881, presque trente-cinq ans avant qu'Einstein publiât sa théorie, J.J. Thomson avait démontré de manière théorique que la masse d'une particule électrisée s'accroissait lorsque sa vitesse augmentait. Puisque cela était en contradiction directe avec les lois de Newton, qui affirmait que la masse d'un corps est indépendante de son mouvement, il fut suggéré que peut-être la masse totale d'une particule chargée pourrait être séparée entre une masse newtonienne qui ne changerait pas, et une masse électrique qui, elle, changerait. Après 1905, beaucoup de physiciens entreprirent des recherches pour voir comment la masse d'un électron en mouvement varie avec sa vitesse et trouvèrent que sa masse « totale » variait de la manière prédite par Thomson pour la masse « électrique ». L'étonnante conclusion à laquelle on ne pouvait échapper était que la masse de l'électron

est totalement électrique et dépend de sa vitesse.

L'accroissement de la masse d'un corps selon sa vitesse est très faible jusqu'à ce que cette vitesse devienne une fraction appréciable de celle de la lumière. Même une fusée voyageant à la vitesse de 1 500 m/sec accroît sa masse de moins d'un dix-millième de la masse au repos, mais les électrons, doués d'une très grande vitesse, se déplaçant à une vitesse équivalant aux 3/4 de celle de la lumière, ont approximativement une masse double de celle qu'ils ont au repos.

Le modèle « Rutherford-Bohr » de l'atome

Rutherford ayant établi, vers 1911, que les rayons alpha provenant de matières radioactives étaient composés de particules chargées positivement, de même dimension et de même masse que les atomes, continua à les utiliser avec beaucoup de bonheur pour explorer l'intérieur des atomes. Il montra que des particules alpha, projetées à travers une longue colonne de gaz, en ressortent pour la plupart sans avoir été déviées de leur course, mais

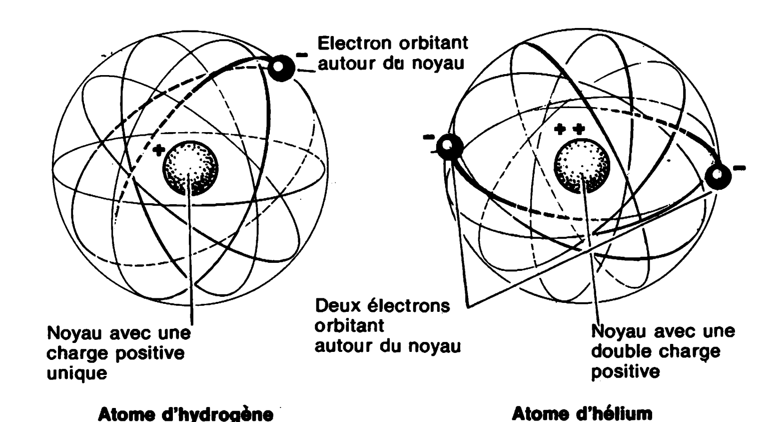


Figure 12. L'hydrogène et l'hélium, les deux atomes les plus simples, se présentent chacun sous la forme d'un « système solaire ».

quelques-unes toutefois, sont déviées selon des angles importants. Ceci, dit Rutherford, était à peu près « aussi incroyable que si un canon tirait un boulet de 50 cm de diamètre sur une pièce de tissu et qu'il revienne pour vous frapper ». En observant un grand nombre des traces des particules avec lesquelles il bombardait un gaz, il déduisit que les atomes de ce gaz sont constitués d'un très petit noyau central ; celui-ci, chargé positivement, constitue la plus grande partie de la masse de l'atome, et est environné par des électrons chargés négativement qui, ensemble, équilibrent la charge du noyau. De là découle la fameuse image du « système solaire » utilisée pour décrire l'atome et dans laquelle « le soleil » est le noyau massif et les « planètes », les électrons tournant autour de lui (voir fig. 12).

Le plus simple des atomes, l'hydrogène, fut décrit comme un noyau avec une unique charge positive ayant un seul électron gravitant autour de lui. L'atome le plus complexe alors connu, l'uranium, n'a pas moins de 92 électrons pour contrebalancer la charge du noyau.

La théorie des quanta revint une fois de plus sur le tapis. L'application faite par Einstein de la théorie des quanta à l'effet photo-électrique conduisit à une révolution dans les théories sur la nature de la lumière et de l'énergie irradiée ; son application par le physicien danois Niels Bohr au comportement des électrons à l'intérieur des atomes conduisit à une révolution dans les théories sur la structure de la matière. En 1913, Bohr avança d'abord l'idée que les mouvements des électrons à l'intérieur des atomes sont soumis à la loi des quanta plutôt qu'aux lois classiques qui s'appliquent par exemple à des corps de grandes dimensions comme les planètes. Ce premier principe amena Bohr à des conclusions surprenantes. Les électrons sont limités à un nombre déterminé d'orbites invariables et, dans chacune de celles-ci, la vitesse de l'électron est fixée par la loi des quanta. Il est connu qu'à l'échelle ordinaire, toute charge électrique émet un rayonnement si elle oscille, mais, dans l'atome, l'électron peut accomplir son perpétuel manège sans émettre de rayonnement. Selon Bohr, le rayonnement est émis par un atome chaque fois qu'un électron saute ou est transféré, de n'importe quelle façon, d'une orbite à une autre. Ainsi, la lumière visible est produite par un électron sautant d'une orbite à l'autre et ce, dans un grand nombre d'atomes. Les raies d'un spectre — que ce soit le

spectre de la lumière d'une chandelle ou celui d'une étoile éloignée — ont leur origine dans ce saut périlleux à l'intérieur de l'atome, et la fréquence de vibration de la lumière émise est déterminée par cette relation très simple :

> la fréquence multipliée par la constante de Planck = la différence entre les énergies de l'atome dans les différents états quantiques correspondants.

Les prévisions théoriques de Bohr au sujet du spectre d'un atome d'hydrogène, basées sur le modèle de Rutherford de cet atome (un noyau se composant d'un unique proton avec un unique électron orbitant autour de lui), correspondirent exactement au spectre observé. Bohr remporta également un succès avec l'hélium, lequel a un noyau avec une double charge positive et deux électrons gravitant autour, comme il l'avait prédit. Cependant, il fut incapable de prédire quel serait le spectre des atomes plus complexes que l'hélium, et cette incapacité d'expliquer le comportement des électrons tournant autour du noyau dans tous les atomes, hormis les plus simples, conduisit à une autre découverte révolutionnaire.

Ondes, particules et incertitude

La tentative remarquable de Bohr pour expliquer la matière comme étant constituée de particules — électrons et protons — se déplaçant suivant la loi des quanta dans l'espace vide, fut, en un sens, la dernière tentative de survie d'une théorie qui avait été imaginée par Démocrite. Après la première guerre mondiale qui avait détruit beaucoup d'illusions et beaucoup d'espoirs, ainsi que de nombreuses vies humaines et d'immenses richesses, des savants s'efforcèrent de rebâtir sur les ruines de la philosophie mécaniste, une nouvelle conception de la physique qui serait compatible avec les découvertes sensationnelles des vingt années précédentes.

En Europe, dans les années 1920, un groupe de brillants jeunes mathématiciens et physiciens commença à soumettre toutes les théories antérieures concernant la matière à une analyse

minutieuse. Leurs idées étaient habituellement enveloppées dans un langage mathématique des plus austères, incompréhensible pour le non-initié ; mais même lorsque ces idées furent traduites en langage de tous les jours, la plupart les estimèrent fantaisistes. Je crois que la raison ne provenait pas tellement de la difficulté des mathématiques, mais plutôt de la difficulté à expliquer en termes simples les idées si peu familières qu'elles recouvraient. Nous nous imaginons parfois comprendre un terme lorsque nous le rencontrons ou l'utilisons fréquemment, mais ceci peut ne pas être exact. Nous utilisons assez aisément des mots tels que « onde » ou « particule », dans le monde que nous pouvons voir ou toucher, mais que signifient ces termes quand nous les appliquons au domaine de l'atome ou que nous voulons expliquer le comportement des électrons ? Quand nous parlons des électrons comme de « particules », nous ne devons pas oublier que la plus petite des particules que nous pouvons voir contient un nombre astronomique d'électrons, de sorte que notre représentation d'un électron étant une « particule » ne nous fournit aucune base solide pour interpréter son comportement. En conséquence, quand nous avons dit que les électrons se comportent à la fois comme des ondes et comme des particules, nous n'avons pas besoin d'être gênés si nous sommes incapables de visualiser ces étranges choses hybrides. Ils se comportent vraiment de cette manière, comme nous allons le voir.

En 1924, le jeune physicien allemand Werner Heisenberg, qui avait fait ses études avec Bohr à Copenhague, jeta sur l'atome un regard absolument neuf. Il refusa toutes les images verbales de l'atome telles que « orbites de l'électron », « particules », « ondes », « quanta d'énergie », etc., et concentra toute son attention sur ce qui pouvait être réellement observé et mesuré : c'est-à-dire les fréquences et les intensités des raies du spectre, qui sont caractéristiques de chaque atome. A l'âge de vingt-trois ans, Heisenberg commença à mettre au point une théorie mathématique qui tiendrait compte des raies du spectre réellement observées. En collaboration avec le professeur Max Born, de l'université de Berlin, il inventa un nouveau système de lois mathématiques, connues sous le nom de « calcul matriciel », qui permettait de prédire exactement les spectres atomiques. Dans ce système, l'électron, « particule » à l'intérieur de l'atome, apparaissait comme un ensemble d'expressions mathématiques qui représen-

taient certainement quelque chose de plus complexe qu'une particule. Les mathématiques mises au point par Heisenberg et Born se révélèrent être d'application universelle dans la physique atomique. Utilisées pour représenter le tournoiement des électrons dans l'espace libre autour d'un atome ou aux alentours d'un atome, elles amenèrent au schéma établi par Bohr.

Egalement en 1924, Louis de Broglie, à Paris, entra dans l'arène en avançant l'idée d'un électron se mouvant comme un train d'ondes. Avec son système de mécanique ondulatoire, il montra comment les principes de la théorie des quanta pourraient être utilisés pour déterminer les fréquences et les longueurs d'onde de ces radiations. Deux ans plus tard, le physicien autrichien Erwin Schrödinger appliqua cette idée au comportement des électrons à l'intérieur de l'atome, remplaçant les électrons orbitants de Bohr par des trains d'ondes équivalents, et démontra que les orbites possibles étaient précisément celles qui contenaient un nombre entier d'ondes complètes.

La preuve expérimentale en fut bientôt fournie : cet aspect ondulatoire des électrons était plus qu'une fiction mathématique. En 1927, Davisson et Germer, dans les laboratoires Bell, à New York, découvrirent que s'ils dirigeaient un flux d'électrons vers la surface d'un cristal, les électrons réfléchis étaient répartis selon une figure de diffraction semblable à celle produite par les rayons X dans les mêmes circonstances. Et l'année suivante, G.P. Thomson, fils de J.J. Thomson, remarqua que la figure de diffraction obtenue en envoyant un faisceau étroit d'électrons à travers un fin film métallique, était similaire à celle obtenue avec les rayons X. C'est ce que Broglie exprima en ces termes : « Nous ne pouvons continuer à imaginer l'électron comme étant un tout petit corpuscule d'électricité : nous devons y associer une onde. »

Heisenberg n'était pas satisfait par la description mathématique de la double nature de l'électron ; il rechercha la réalité que recouvraient ces abstractions mathématiques. En 1927, il introduisit le principe d'incertitude déterminant qu'il est normal qu'il soit impossible de spécifier la position exacte et la vitesse exacte d'un électron au même instant : l'incertitude dans la position ne pourrait décroître qu'en accroissant l'incertitude de la vitesse, ou vice versa, et le produit de ces deux incertitudes est un simple multiple de la constante de Planck. Ce principe extrêmement

original qui, à première vue, semble saper toute la base des sciences exactes, se révéla après tout n'être pas tellement paradoxal. Nous devons éviter de commettre la même vieille erreur qui consiste à transposer au monde des atomes et des électrons les lois du monde à l'échelle humaine. Des instruments très précis ont été inventés pour mesurer des vitesses et des distances, mais si précis soient-ils, ils ne peuvent manipuler une masse plus petite ou une charge inférieure à celle d'un électron, ni avoir recours à un « paquet » d'énergie inférieur à un simple quantum. Pour influer sur le plus délicat instrument concevable de la manière la plus légère, il faut donc au moins mettre en jeu un électron ou un proton. Evidemment, ces arguments ne s'appliquent pas à la conception traditionnelle ou préquantique : en théorie du moins, l'intensité d'un rayon de lumière pourrait être réduite autant de fois qu'on veut, donc, suffisamment pour avoir un effet négligeable sur un électron. Mais, comme nous l'avons vu, du point de vue quantique, l'énergie d'un photon n'est pas réduite lorsqu'on diminue l'intensité de la lumière, mais seulement lorsqu'on en diminue la fréquence ; en fait, nous devrions accroître la fréquence de toute radiation utilisée pour examiner des électrons jusqu'à une longueur d'onde assez courte pour être comparable aux dimensions des électrons. Plus la radiation diminue sa longueur d'onde pour nous montrer l'électron, plus l'énergie de ses photons est forte, et plus l'électron « encaisse » les chocs.

A tout prendre, le principe d'incertitude d'Heisenberg n'affecte pas le comportement du monde, mais avec lui l'image exacte et attendue de ce monde se transforme en un ensemble embrouillé de probabilités. Cette transformation constitue une importante révolution dans la pensée scientifique.

Une synthèse des idées mathématiques d'Heisenberg, de de Broglie et de Schrödinger fut réalisée par le mathématicien de l'université de Cambridge P.A.M. Dirac ; il publia en 1930, un livre qui fit date : *La mécanique quantique.* Dans ce travail approfondi et abstrait, la mécanique ondulatoire et le calcul matriciel apparaissent comme des cas spéciaux d'un système plus général. La conception sous-tendant le travail de Dirac est la suivante : des processus naturels ne peuvent jamais être décrits complètement comme des événements qui se déroulent dans l'espace et dans le temps, et l'observation de tels processus constitue aussi l'un des événements qui les influence.

L'électron tournant sur lui-même

La poursuite de l'étude sur la disposition précise des raies du spectre atomique — spécialement par les Américains Millikan et Bowen — indiqua la répartition des électrons à l'intérieur de l'atome. En 1926, deux jeunes physiciens néerlandais, Uhlenbeck et Goudsmit, introduisirent une idée nouvelle dans la conception physique de l'atome. Ils suggérèrent que chaque électron dans un atome non seulement orbite autour du noyau, mais aussi tourne sur lui-même, sur son propre axe. Quelle que soit la réalité de cette idée, elle se révéla très utile en pratique en expliquant les petits détails du spectre de l'atome.

Pauli appliqua la théorie des quanta aux électrons tournant sur eux-mêmes, et élabora une série de règles simples qui nous permettent d'assigner un électron à chaque orbite particulière et, ainsi, de construire un modèle de l'atome spatio-temporel qui tienne compte de toutes ses propriétés indépendantes du noyau. La signification du principe d'incertitude d'Heisenberg appliqué à ce modèle est que, quoique nous ne puissions jamais préciser la position *exacte* d'un électron sur une orbite, nous pourrons prédire sa position *probable*.

L'hypothèse des électrons tournant sur eux-mêmes fournit une explication possible du magnétisme. Il est considéré comme admis que, dans les atomes des métaux magnétiques — fer, cobalt, nickel — le mouvement de rotation des électrons sur certaines orbites n'est pas équilibré comme il l'est dans les atomes de métaux non magnétiques, et la force résultante des tournoiements non équilibrés pourrait être la force magnétique.

Les rayons cosmiques et l'électron positif

Trois cents ans après la description par Gilbert de son premier prototype, l'électroscope avait atteint un haut degré de perfection et était devenu ultra-sensible. Rutherford utilisa cet instrument avec grande efficacité pour déterminer la nature des rayonnements provenant d'atomes radioactifs. L'électroscope fournit la

toute première preuve de l'existence des rayons cosmiques qui devait changer radicalement nos idées sur la nature de l'univers.

En 1910, le Suisse Gödel monta en ballon à 4 700 mètres avec un électroscope et observa que le régime de décharge était un peu plus élevé qu'au niveau du sol. Ceci constituait un fait inattendu parce que l'on avait supposé jusque-là que des radiations pénétrantes, non identifiées, qui déchargeaient les électroscopes à la surface de la Terre, étaient engendrées — telles les émanations radioactives — par des minéraux enfouis dans l'écorce terrestre, et donc que leur influence serait nulle à des altitudes élevées. Peu de recherches furent tentées pour vérifier cette hypothèse. Ce n'est qu'en 1922, que Millikan, Bowen et d'autres chercheurs envoyèrent dans la stratosphère (17 000 m) les premières sondes spatiales sous la forme d'électroscopes, de baromètres et de thermomètres à autoréglage, portés par des ballons-sondes, pour confirmer cette hypothèse. L'examen des données de ces instruments après leur récupération, indiqua la présence de radiations pénétrantes ayant leur origine, soit dans l'atmosphère, soit dans l'espace extra-atmosphérique. Pour trancher la question, les électroscopes furent descendus au fond des lacs de montagne en Californie et placés à différentes altitudes. Les indications des instruments montrèrent que plus basse est l'altitude des instruments, moins forte est la décharge, de sorte qu'il fallut en déduire que l'atmosphère située au-dessus d'eux absorbe plutôt qu'elle n'engendre ces radiations. En conséquence, les rayons devaient avoir leur origine dans l'espace extra-atmosphérique et les mesures indiquèrent que les radiations provenant de là-haut étaient au moins dix-huit fois plus pénétrantes que les plus pénétrants rayons gamma alors connus, ce qui leur donnerait une puissance de pénétration suffisante pour transpercer plusieurs fois l'épaisseur de l'atmosphère. Ces rayons très puissants furent baptisés « rayons cosmiques ».

Dès 1933, des mesures effectuées par Regener, Picard et d'autres savants au cours de vols effectués à très haute altitude, avec des ballons, confirmèrent que l'énergie totale du rayonnement cosmique frappant la Terre est d'environ la moitié de l'énergie totale reçue des étoiles sous la forme de lumière et de chaleur, et que ce rayonnement est uniformément réparti sur le dôme céleste. Millikan et ses collaborateurs calculèrent que l'énergie totale existant dans l'univers sous la forme de rayons

cosmiques est de 30 à 300 fois plus grande que celle de toutes les autres formes d'énergie de rayonnement mises ensemble. Aujourd'hui, il est généralement admis que les rayons cosmiques primaires sont constitués essentiellement de protons provenant de radio-sources très éloignées de notre galaxie. Ils sont accélérés par des champs magnétiques à l'intérieur de cette dernière et atteignent notre atmosphère dotés d'une énergie formidable. Ces rayons primaires de haute énergie sont quasi entièrement transformés à l'intérieur de notre atmosphère en des rayons secondaires composés de toutes sortes de particules élémentaires voyageant à de très grandes vitesses, et qui sont détectés sur terre par nos électroscopes. Il n'y a pas de doute que, dans le cas des rayons cosmiques, nous soyons témoins des effets de la création et de l'annihilation de la matière : voilà un processus véritablement imposant dans lequel la relation entre la matière et l'énergie est exprimée par la fameuse équation d'Einstein $E = mc^2$, où E représente l'énergie, m la masse, et c la vitesse de la lumière.

Les nouvelles catégories de particules produites par les rayons cosmiques déclenchèrent cependant une autre phase révolutionnaire dans l'histoire de la physique fondamentale. Avant la nuit du 2 août 1932, il était universellement admis que les particules élémentaires constituant toute matière étaient les deux particules élémentaires permanentes : l'électron et le proton. Le proton avait exactement la même charge que l'électron, à cette différence près qu'elle était positive au lieu d'être négative et sa masse était 1 835 fois supérieure à celle de l'électron. Une image détaillée des mouvements et de la répartition des électrons autour du noyau dans chacune des 92 sortes d'atomes alors connus offrait une solide explication de leurs propriétés chimiques et physiques. Mais la structure du noyau demeurait un mystère. On savait qu'il représentait la plus grande partie de la masse de l'atome et qu'il occupait une toute petite fraction de l'espace effectivement occupé par les électrons de l'atome. On supposait également qu'il se composait de protons et d'électrons, le nombre de protons de tout type particulier d'atome étant égal au nombre d'électrons du noyau augmenté du nombre d'électrons tournoyant autour de lui.

Mais dans l'après-midi du 2 août 1932, le docteur Carl Anderson, au laboratoire Norman Bridge, aux Etats-Unis, prit

une photographie d'un rayon cosmique laquelle laissait voir la trace d'une simple particule dans une chambre à condensation de Wilson. Après avoir étudié le cliché toute la nuit, il fut forcé d'aboutir à la conclusion que c'était là la trace d'une particule qui avait les mêmes propriétés qu'un électron libre négatif — y

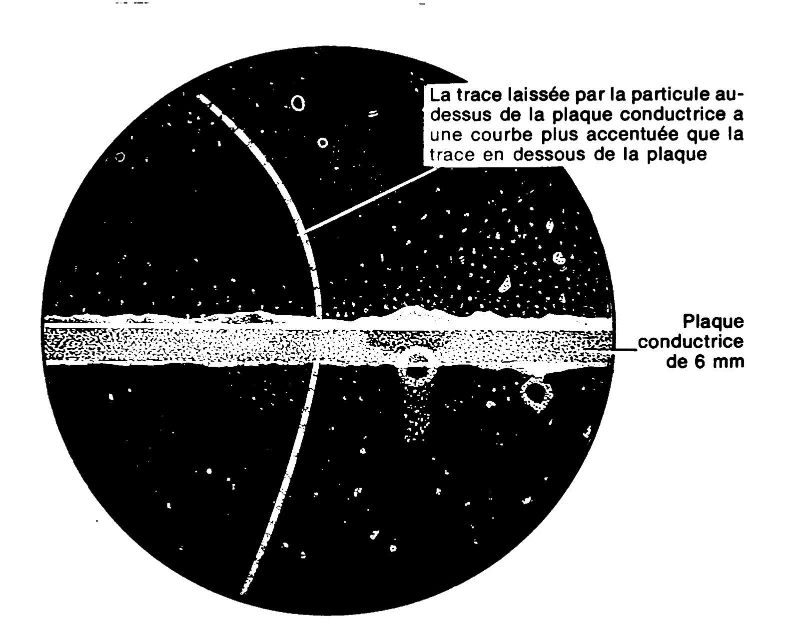


Figure 13. Ce dessin réalisé d'après une photo prise par Carl D. Anderson montre la trace laissée par un positon de 63 millions de volts traversant une plaque conductrice de 6 mm d'épaisseur et en ressortant sous la forme d'un positon de 23 millions de volts. Une telle trace n'aurait pu être produite par aucune autre particule connue alors.

compris la même masse — mais avec une charge *positive* et d'une durée de vie très courte. Ainsi fut découvert le positon, et le proton fut évincé par le fait même de sa place antérieure d'unité fondamentale de charge positive (voir fig. 13).

Des travaux ultérieurs, en Amérique et en Grande-Bretagne, montrèrent que l'électron positif est produit par l'impact de

rayons gamma ainsi que par celui de rayons cosmiques, sur les noyaux des atomes. Trois ans auparavant, Diraç, durant ses tentatives en vue d'établir une théorie unifiée de la matière, avait éprouvé la nécessité d'y inclure un « anti-électron » de même masse, mais de charge opposée à celle de l'électron. Le positon

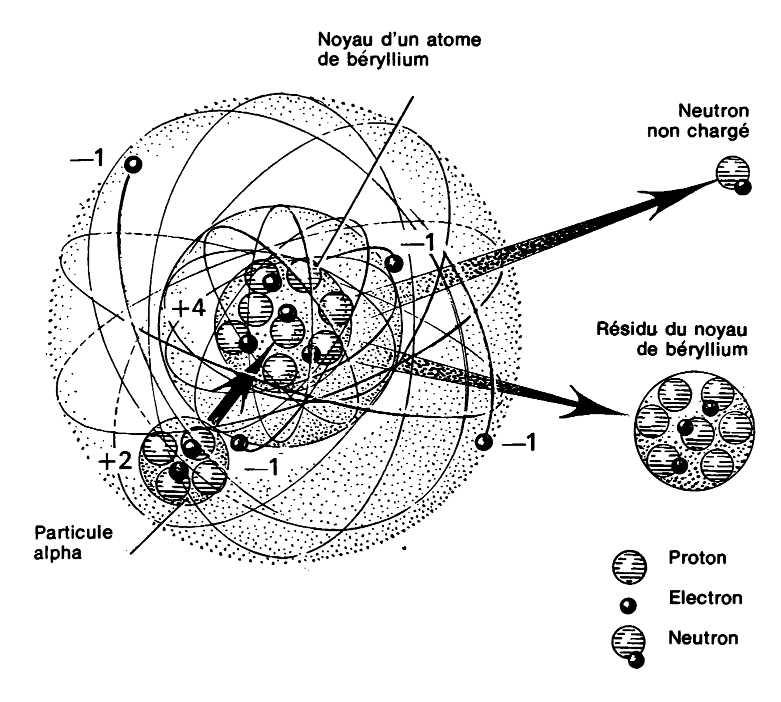


Figure 14. Un neutron peut être chassé d'un atome de béryllium dont le noyau est bombardé au moyen d'une particule alpha.

possédait exactement les caractéristiques de cet anti-électron et coïncidait exactement avec la théorie de Dirac concernant les photons de haute énergie frappant un noyau et qui devaient créer un couple électron-positon ; inversement, si un électron et un positon sont placés ensemble, ils s'annihilent en libérant une énergie selon l'équation d'Einstein $E = mc^2$.

Le neutron

En 1932, un autre pas en avant au cœur de l'atome fut effectué par James Chadwick, au laboratoire Cavendish à Cambridge. Il fournit la preuve irréfutable que, lorsque les atomes de certains éléments tels que le béryllium et le bore sont bombardés avec des particules alpha provenant d'un élément de polonium radioactif, des particules sont chassées hors des noyaux (voir fig. 14). Ces particules étaient de masse à peu près égale à celle du proton, mais ne possédaient *aucune charge.* Ces particules neutres ne purent être identifiées par la méthode habituelle utilisant leurs effets ionisants dans des chambres de condensation, ou sur des émulsions photographiques, puisqu'elles ne pouvaient ioniser ; mais, à cause de leur masse et de leur force de pénétration, elles pouvaient fractionner un noyau et leurs propriétés purent donc être déduites des particules chargées qu'elles avaient chassées hors du noyau. Chadwick était d'avis que ces particules étaient composées de protons et d'électrons étroitement combinés, et il les appela « neutrons ». Les neutrons jouent un rôle essentiel dans le noyau et déterminent les processus de fission et de fusion lorsqu'on brise et qu'on transmute les atomes, processus qui permirent la réalisation des armes atomiques et la production de l'énergie atomique.

L'atome toujours en mouvement

Durant les trente dernières années, depuis la découverte du positon et du neutron, beaucoup d'autres particules « fondamentales » ont été découvertes, mais contrairement à l'électron et au proton, elles ont toutes une durée de vie très courte ; certaines ont une existence inférieure à un millionième de millionième de seconde. Il y a aujourd'hui de 50 à 100 états subnucléaires reconnus, mais les physiciens peuvent déjà discerner un schéma de base selon lequel opèrent les étonnantes forces combinées de la matière et de l'énergie qui constituent le noyau. Tout comme l'image rassurante des atomes solides et immuables de Démocrite

fut transformée en cette image affolante d'électrons tournoyant autour d'un petit noyau solide, voici qu'à son tour le noyau lui-même est devenu un système compliqué toujours en mouvement.

L'électron demeure toujours simple et indivisible et, bien que l'on ne soit jamais à l'abri des surprises, l'importance de l'électron dans l'univers et son rôle dans la révolution scientifique du xxe siècle ne sont plus à démontrer.

Chapitre 3

LA CROISSANCE DE L'ELECTRONIQUE

Faraday, Henry et Maxwell auraient exercé peu d'influence sur le monde, sans Bell, Edison et Marconi.
J.G. Crowther :
Les hommes de science américains célèbres.

L'effet Edison

C'est en 1879 que le prolifique et infatigable inventeur que fut Thomas Alva Edison, fabriqua la première lampe électrique à filament de carbone. Ainsi, il apporta une plus grande contribution au développement de notre civilisation que beaucoup de princes ou de politiciens de son temps. Alimentées par l'énergie fournie par le premier réseau électrique utilisant la dynamo à courant continu, les lampes de ce type obtinrent un brillant succès lorsqu'elles furent présentées au public. Elles avaient hélas un grave inconvénient : elles s'obscurcissaient à l'usage. En 1883, alors qu'il recherchait la cause de ce défaut, Edison remarqua que, dans certaines conditions de vide et sous certains voltages, une lueur bleuâtre apparaissait à l'intérieur de la lampe. Il découvrit la cause de cette lueur : un courant inexpliqué entre les deux fils de la lampe qui alimentent le filament. Le courant s'écoulait dans la direction opposée à celle du courant principal traversant le filament, c'est-à-dire qu'il passait de la borne négative (cathode) à la borne positive (anode). Cet « effet Edison » ne fut jamais expliqué par son inventeur, néanmoins il est intéressant de noter qu'il déposa un brevet en 1886 pour un « indicateur électrique » dont le principe était basé sur cet effet (voir fig. 15).

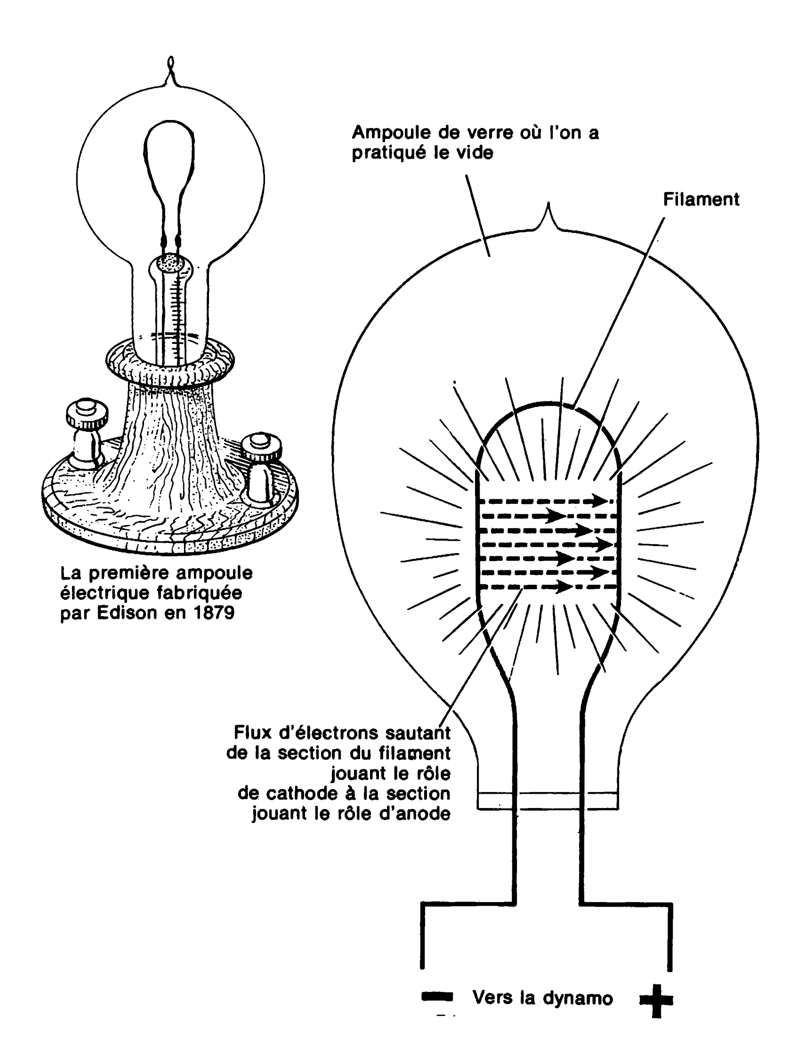


Figure 15. L'effet Edison : la lampe thermoionique a été inventée en recherchant la cause de la lueur bleuâtre apparaissant entre les deux sections du filament dans les premières lampes Edison.

Comme nous l'avons vu au chapitre précédent, ce furent les recherches intensives des savants allemands et britanniques sur la nature des rayons cathodiques, et particulièrement les travaux de J.J. Thomson, qui mirent finalement en lumière le fait que l'effet Edison, dans un tube contenant de l'air raréfié ou du gaz, est dû au passage des électrons de l'électrode négative à l'électrode positive. Dans la lampe d'Edison, les électrons sont produits par le filament incandescent, et la théorie du phénomène physique qui se produit alors — l'émission thermoionique — fut établie en 1903 par O.W. Richardson, un des élèves de Thomson. Richardson démontra que les électrons sont émis par des métaux portés à température suivant un phénomène semblable à l'évaporation.

Ces inventions et découvertes de la première heure conduisirent à la réalisation des deux premiers éléments électroniques qui rendirent possible la radio et la télévision, qui établirent les bases de l'industrie électronique et qui révolutionnèrent la technologie de l'époque : la diode* et le tube à rayons cathodiques.

La diode

Si quelqu'un peut être appelé le « père de l'électronique », c'est bien Ambrose Fleming, car il a inventé la diode qui est le premier dispositif où les électrons libérés sont mis au travail. Au tournant du siècle, Fleming, qui était alors un jeune professeur d'électrotechnique à l'University College, à Londres, fut nommé conseiller scientifique à l'Edison Electric Light Company de Londres et il se familiarisa alors avec les expériences sur la lampe d'Edison. Il devint par la suite expert conseil de la compagnie britannique Marconi qui cherchait un meilleur détecteur de signaux radio que ces dispositifs primitifs et incommodes employés alors par Marconi.

Lors des premiers jours de la radio, au début du vingtième siècle, les signaux utilisés se composaient de trains d'ondes amorties de haute fréquence produits par la décharge d'un condensateur dans une bobine au moyen d'une clé morse, laquelle commandait ainsi successivement l'étincelle et son arrêt.

A la station réceptrice, les ondes, aux fluctuations rapides, devaient être redressées, c'est-à-dire qu'on leur faisait traverser un dispositif qui permettait au flux de courant de passer dans un sens mais non en sens inverse, de manière que les ondes puissent produire des effets audibles dans un écouteur. Le dispositif redresseur dont on se servait alors — le cohéreur — comprenait un tube de verre presque complètement rempli de limaille de fer, dont la résistance au passage du courant dépend de la présence de décharges électriques telles que les signaux radio produits par le générateur à étincelles décrit plus haut. Le cohéreur était une pièce inefficace et délicate à manier et Fleming eut l'idée d'utiliser l'effet Edison comme solution de remplacement (voir fig. 16).

Il plaça deux plaques de métal à l'intérieur d'une lampe où l'on avait pratiqué le vide : l'une, la cathode fut rendue électriquement négative par rapport à l'autre, l'anode. La cathode fut chauffée jusqu'à incandescence au moyen d'une batterie appropriée, de telle sorte que les électrons étaient émis en un flux constant en direction de l'anode. Quand la lampe fut insérée dans le circuit d'antenne d'un récepteur radio, l'anode devint alternativement positive et négative suivant les fluctuations des oscillations haute fréquence captées par l'antenne, mais les électrons (étant chargés négativement) furent attirés par l'anode *uniquement durant le temps où elle était positive* et furent repoussés durant la partie du cycle où elle était négative. La lampe agit ainsi comme une valve vis-à-vis des signaux radio puisqu'elle ne permet au courant de s'écouler que dans un sens : de la cathode vers l'anode. Le courant redressé pouvait alors faire fonctionner un écouteur ou un appareil enregistreur. La *valve** à deux électrodes de Fleming, appelée diode, fut brevetée en 1904, au nom de la Compagnie Marconi, quoique le seul mérite de Marconi fut d'avoir eu la bonne idée d'engager Fleming (voir fig. 17) !

La diode de Fleming se révéla être le type de l'instrument basé sur un principe entièrement nouveau. Toutefois, si elle fonctionnait bien en laboratoire, elle ne donnait pas entière satisfaction à l'usage. Le détecteur à cristal (le premier dispositif semi-conducteur), qui fut inventé à peu près à la même époque, fonctionnait beaucoup mieux jusqu'à ce que la diode de Fleming fût perfectionnée par les Américains I. Langmuir et H.D. Arnold, qui montrèrent la nécessité qu'un vide très poussé soit maintenu dans

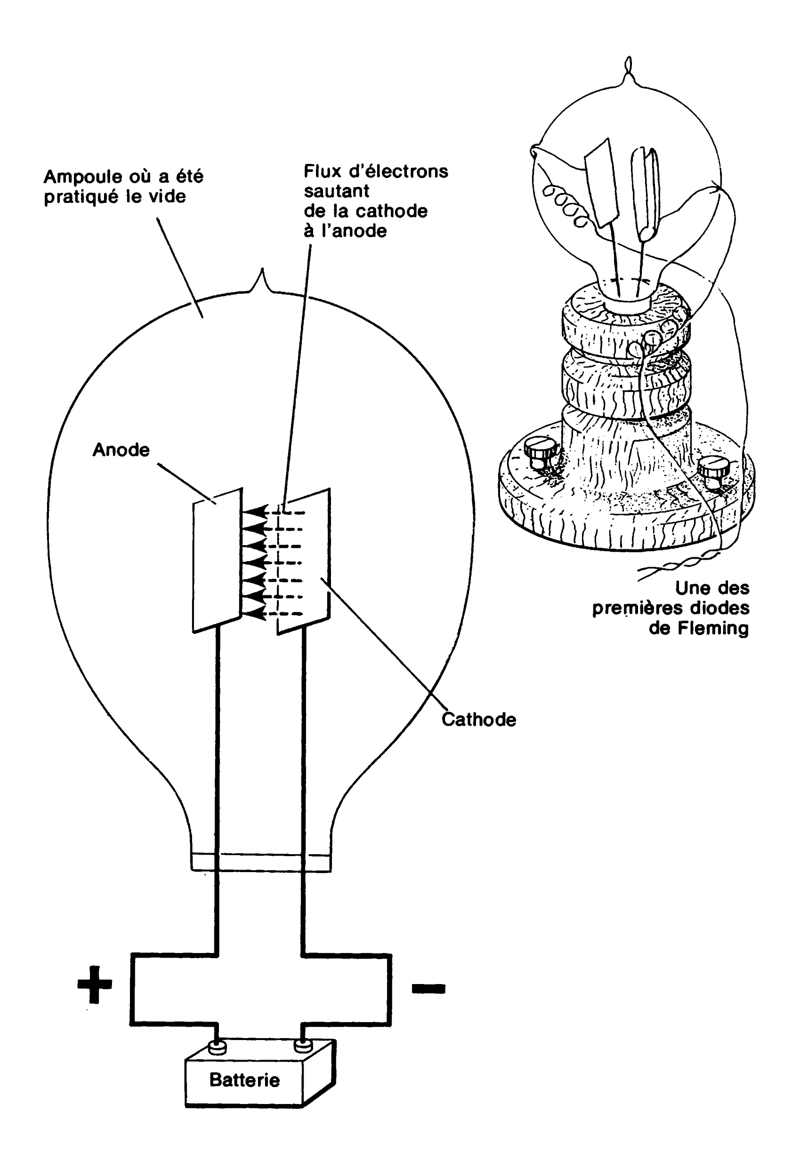


Figure 16. Fleming utilisa l'effet Edison pour fabriquer la première lampe à deux électrodes qui remplaça le cohéreur pour la réception des ondes radio.

le tube. Plusieurs inventeurs, dans différents coins du monde, déposèrent des brevets relatifs à la valve thermoionique peu de temps après le dépôt du premier brevet de Fleming, déclenchant ainsi une querelle juridique des plus longues concernant les droits d'antériorité. Ces discussions devaient devenir typiques dans l'industrie électronique. Il n'y a cependant aucun doute que Fleming est bien le premier à avoir conçu l'idée d'une diode, à l'apparence grossière il est vrai, mais qui fut la véritable ancêtre d'une vaste famille de valves et de tubes thermoioniques perfectionnés et de plus en plus complexes, fabriqués aujourd'hui par centaines de millions.

La triode

Le perfectionnement qui devait faire progresser véritablement la valve thermoionique fut apporté peu de temps après que la diode de Fleming soit brevetée. En 1900, Lee De Forest, un jeune diplômé, renonça à une place sûre d'ingénieur en téléphonie à la Western Electric Company, à Chicago, pour se livrer à des expériences dans le domaine de la télégraphie sans fil : il était convaincu qu'il y avait là un grand avenir. Comme Fleming, il se mit à la recherche d'un meilleur détecteur de signaux radiotélégraphiques que le cohéreur et entreprit de nombreuses expériences sur des tubes à deux électrodes dans lesquels un vide partiel avait été pratiqué ou bien dans lesquels l'air avait été remplacé par un gaz déterminé.

Au cours de ces expériences, il introduisit une troisième électrode, en forme de grille, entre la cathode et l'anode. En reliant cette grille à une batterie séparée, il découvrit qu'il pouvait commander le débit du courant entre la cathode et l'anode. Il avait emprunté cette idée au physicien allemand Lenard qui avait utilisé antérieurement ce principe d'une grille de commande pour étudier la nature et les déplacements des électrons émis, au moyen de lumière ultraviolette, par une cathode en zinc. Ce qui se passe alors peut être décrit en termes simples : quand la grille est rendue positive par rapport à la cathode, elle attire les électrons provenant de la cathode au

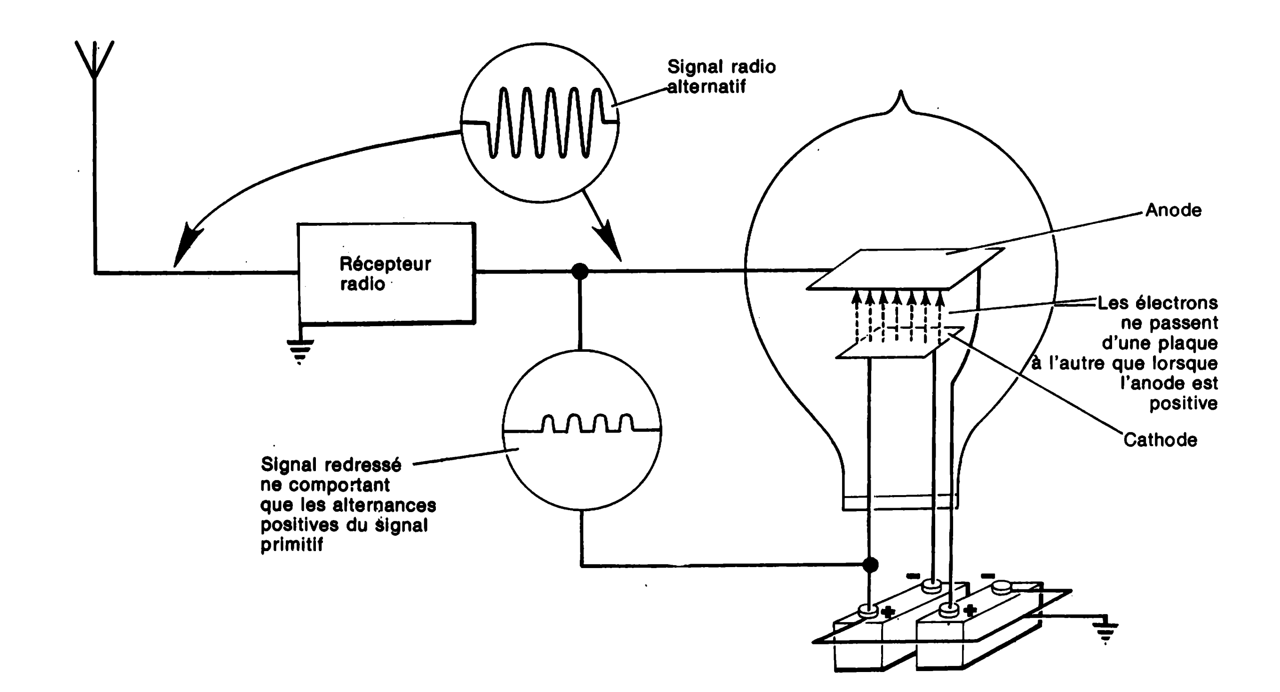


Figure 17. Ce schéma simplifié montre comment la diode thermoionique ne laisse passer qu'une alternance des signaux radio.

rythme où ils sont émis, et ceux-ci continuent alors leur course vers l'anode ; mais si la grille est rendue suffisamment négative, les électrons sont repoussés vers la cathode et le courant d'anode tombe. Le système de contrôle du courant électronique au moyen d'une grille est plus efficace et plus précis que par la méthode employée précédemment par Fleming et qui consistait simplement à chauffer plus ou moins la cathode (voir fig. 18).

Lorsque De Forest relia l'antenne d'un poste de T.S.F. à la

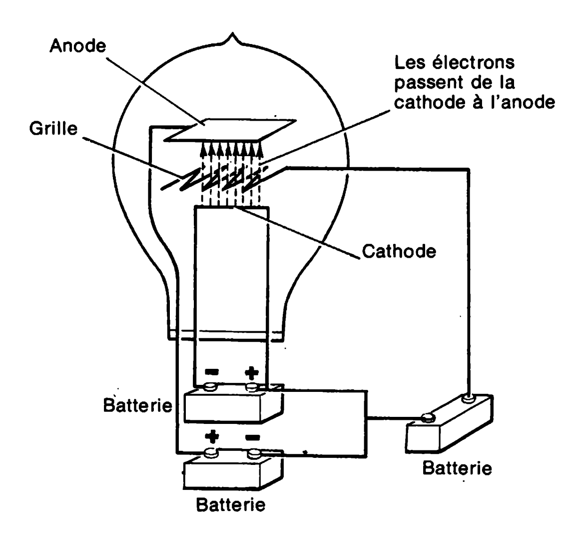


Figure 18. Principe de la triode : l'introduction d'une grille entre l'anode et la cathode permet de commander le flux d'électrons.

grille de sa diode, il découvrit qu'elle faisait office de détecteur. Quand le signal d'entrée atteint son alternance positive — ce qui arrive des milliers de fois chaque seconde — les électrons venant de la cathode sont attirés par la grille et le courant d'anode s'accroît ; durant l'alternance négative, les électrons sont repoussés et le courant d'anode décroît. Si une batterie de voltage élevé est reliée à l'anode, les variations de voltage à l'anode, répondant aux fluctuations du signal appliqué sur la grille, sont beaucoup

plus grandes que les variations de voltage du signal d'entrée, de sorte que la *triode* non seulement redresse les signaux alternatifs comme la diode de Fleming, mais *en outre les amplifie.*

Il est probable que De Forest, qui avait un cerveau créateur toujours en activité plutôt qu'un esprit analytique, ne saisit pas tout à fait le principe de base de son « audion » — comme il baptisa son invention — pas plus qu'il ne saisit son importance. Après l'avoir fait breveté en 1907, il entreprit très peu d'expériences à son sujet car son attention fut détournée par d'autres aspects du problème de la téléphonie sans fil. Mais en 1912, il tenta une expérience où les audions étaient placés les uns derrière les autres, en cascade, alimentant l'entrée d'un tube avec la sortie du précédent ; il constata qu'il pouvait ainsi obtenir une amplification beaucoup plus grande qu'avec un tube unique. Il avait créé le premier amplificateur à lampes. La première application de l'électronique au domaine du téléphone peut aussi être attribuée à De Forest puisqu'il utilisa son amplificateur avec des tubes en cascade pour augmenter la puissance très faible des signaux téléphoniques.

Toujours insatisfait, De Forest poursuivit ses recherches sur la triode et découvrit qu'elle pouvait également être montée de façon à agir comme un oscillateur. Il suffit d'injecter sur la grille une partie du signal de sortie. De sorte qu'en plus de ses propriétés de redresser et d'amplifier les ondes électromagnétiques, la triode peut également les produire. Cette fois, De Forest apprécia immédiatement la portée de sa découverte. Il la mit en œuvre pour engendrer des oscillations haute fréquence employées pour la réception radio en remplacement du générateur à arc ou à étincelles utilisé jusqu'alors, mais dont le fonctionnement était peu sûr. L'inventeur conçut un circuit oscillant à triode très compact, qu'il appela « ultraudion », lequel fut beaucoup employé plus tard par la Marine américaine.

L'utilisation de la lampe thermoionique comme oscillatrice pour produire des ondes continues, valut le succès de l'hétérodyne, système d'émission et de réception qui demeure la base de la radio et de la télévision d'aujourd'hui. Les détecteurs et les amplificateurs à lampes sont actuellement remplacés par les transistors et autres semi-conducteurs, mais ceux-ci ne sont cependant pas encore assez perfectionnés pour détrôner les grosses lampes émettrices que l'on trouve dans toutes les stations d'émis-

sion de tous les coins du monde.

Un fait qui explique l'attitude malveillante envers l'invention de la triode des personnes en possession d'intérêts établis dans l'Amérique d'avant 1914, est le jugement rendu en mai 1912 où De Forest et ses associés étaient accusés de « tourner la loi ». Il faut dire que De Forest, comme beaucoup d'autres inventeurs isolés, était constamment frustré dans ses efforts tendant à faire financer ses inventions, il représentait une proie facile pour ces financiers peu scrupuleux qui cherchent à faire fortune par tous les moyens. Dans son jugement, le procureur accusa De Forest et ses associés de vendre des actions d'une compagnie « dont les seuls biens étaient les brevets de De Forest concernant principalement un étrange engin ressemblant à une lampe à incandescence qu'il appelle un audion et qui s'est révélé être sans valeur ». Trente-trois ans plus tard, le Dr I.I. Rabi, physicien américain, lauréat du prix Nobel, décrivit cet « engin sans valeur », dans un article paru dans la revue *Atlantic Monthly* d'octobre 1945 et intitulé « Le physicien revient de la guerre » comme étant une découverte « si importante, vu les conséquences qui en découlent, qu'elle peut presque être rangée parmi les plus grandes inventions de tous les temps ».

Le développement de la triode jusqu'en 1938

Le fonctionnement de la diode de Fleming et de la Triode De Forest était au début, peu satisfaisant, parce qu'elles étaient nées avant la technique qui leur aurait permis d'avoir un bon rendement. La technique nécessaire fut développée durant la période 1910-1925, principalement grâce aux recherches entreprises d'abord dans les industries existantes du téléphone et des lampes et ensuite, par la jeune industrie de la radio.

En 1912, De Forest procéda à une démonstration avec sa triode devant les ingénieurs de l'American Telephone and Telegraph Company (A.T.&.T.) qui envisageaient de s'en servir pour leur téléphone transcontinental allant de New York à San Francisco. Cette démonstration provoqua un grand désappointement,

car la lampe causait une forte *distorsion** lorsque la parole devenait trop forte, et parce que, en outre, la durée de vie moyenne du tube n'était que d'environ 50 heures. H.D. Arnold, un jeune physicien du personnel de l'A.T.&.T., imputa l'instabilité de la triode à l'*ionisation** du gaz demeuré dans la lampe à cause de l'imperfection de l'équipement de pompage disponible à l'époque. La pompe à vide moléculaire de Gaede, qui avait été inventée en Allemagne en 1910, permettait d'obtenir un vide beaucoup plus poussé que ceux obtenus jusque-là. On en importa un exemplaire d'Allemagne et il fut mis à contribution pour fabriquer un tube au vide très poussé. En outre, Arnold substitua des cathodes à oxydes métalliques aux cathodes de tantale employées par De Forest. Dès 1913, on réalisa un filament qui dura 1 000 heures en laboratoire et, dès 1915, l'équipe de recherches de l'A.T. & T. avait suffisamment perfectionné les tubes pour qu'ils puissent être mis en service dans les amplificateurs de la ligne téléphonique transcontinentale.

Cependant, la General Electric Company of America menait aussi des recherches sur les tubes à vide, mais partant d'un point de vue complètement différent : la General Electric s'intéressait à la lampe à incandescence et au tube à rayons X. Les membres de cette équipe, comprenant W.D. Coolidge et Irving Langmuir, et qui menaient les recherches sur la lampe, furent parmi les quelques rares savants en recherche appliquée dans le monde à atteindre le rang des grands physiciens européens. Irving Langmuir, indépendamment d'Arnold, découvrit que « l'émission d'électrons par des métaux chauffés était une véritable propriété des métaux eux-mêmes et n'était pas, comme on l'avait si souvent pensé, un effet secondaire dû à la présence de gaz ». Il conclut donc qu'un vide poussé était requis dans le tube de De Forest afin que puisse s'y produire une décharge électronique pure. Pour pouvoir mener à bien son travail, il inventa un fourneau à vide poussé ainsi qu'un filament au tungstène qui possédait une grande longévité et une bonne caractéristique d'émission.

En 1912 et 1925, de nombreux brevets relatifs au tube à vide furent déposés par l'A.T.&.T. et par la General Electric (il n'est pas besoin de préciser que les interférences entre elles étaient si nombreuses qu'il fallut conclure des accords au sujet des brevets) et ces deux compagnies prirent une position de premier plan dans ce domaine, égalées seulement par la Compagnie Marconi. On fit

peu de chose pour perfectionner le tube à vide durant la guerre 14-18. Une tentative pour établir une liaison transatlantique radiotéléphonique entre Arlington aux Etats-Unis, et la tour Eiffel, fut tentée en 1915 mais se solda par un échec décevant. Malgré que non moins de 500 tubes furent mis en batterie pour envoyer la communication depuis Arlington, seuls quelques faibles mots purent être distingués à Paris. Les ingénieurs des laboratoires de la Bell Telephone à Arlington eurent fort à faire pour remplacer au fur et à mesure les tubes défaillants.

En Amérique, avec l'inauguration de la première station de radio diffusant régulièrement des programmes en 1920, on lança la production en grande série de récepteurs de radio à trois tubes à l'intention du public. La même chose se produisit en Grande-Bretagne lors de l'établissement de la B.B.C. (British Broadcasting Corporation).

En France, la production de récepteurs débute — sur une petite échelle évidemment — après la mise en exploitation des premiers émetteurs diffusant des programmes à destination du public. En novembre 1921, l'émetteur de la tour Eiffel, installé durant la guerre par le général Ferrié, commence à émettre régulièrement pour le public. Le 6 octobre 1922 démarre le premier poste privé français : Radiola. Le lecteur âgé se rappellera sans doute les énormes tubes ornant les récepteurs radio de l'époque et qui dissipaient en lumière et en chaleur la majeure partie de l'énergie qu'ils auraient dû envoyer dans le haut-parleur.

Les perfectionnements apportés aux tubes récepteurs étaient accompagnés par des perfectionnements dans les tubes émetteurs. Les dimensions, la puissance de sortie et le rendement de ces derniers s'accrurent sans arrêt. La puissance maximum des débuts passa d'abord de 50 watts à 250 watts et, dès 1922, on fabriqua un tube expérimental de 100 kilowatts (100 000 watts) qui avait presque les dimensions d'un homme. Du côté du récepteur, des tubes pouvant délivrer aux haut-parleurs une puissance de plusieurs watts ont été mis au point dès 1925.

Un pas en avant considérable fut accompli en 1927 lors de l'introduction des tubes à chauffage indirect dont le filament pouvait être chauffé par l'intermédiaire d'un transformateur, à partir du courant du secteur (voir fig. 19). Désormais, les récepteurs de radio pouvaient être conçus pour s'alimenter à une prise de courant ordinaire et l'on pouvait se passer des encom-

brantes batteries requises auparavant pour le chauffage des filaments, batteries qui devaient être rechargées périodiquement.

Dès les années 1930, le nombre de types différents de tubes et de diodes s'accrut rapidement tout comme d'ailleurs la quantité de chaque type qui était fabriquée. On mit au point de meilleures techniques pour fabriquer des tubes au vide très poussé. Les gaz indésirables retenus dans la paroi de l'enveloppe ou à la surface des électrodes métalliques disparurent presque complètement en « cuisant » l'enveloppe de verre et en passant au four les électrodes métalliques avant leur assemblage final. En outre, on plaça dans le tube un « getter », nom donné à la substance volatile qui possède une forte affinité avec les gaz pour en absorber toutes les traces après que le tube a été scellé. Des substances émettrices à très haut rendement, à base d'oxyde métallique, permirent de réaliser des tubes de plus en plus petits, possédant une longue durée de vie. Dix ans de radio et de radiotéléphonie amenèrent la réalisation de nouveaux types de

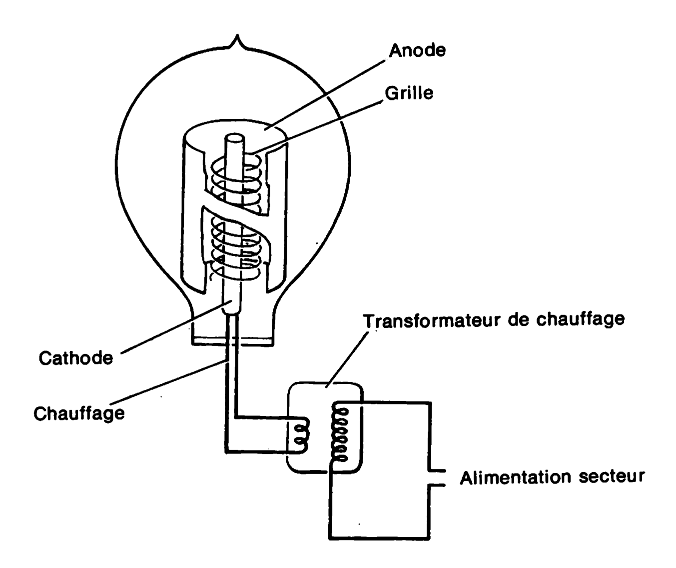


Figure 19. Lampe à chauffage indirect : un fil placé à l'intérieur de la cathode permet de remplacer la batterie de chauffage par une alimentation reliée au secteur.

lampes comprenant des électrodes multiples. Les éléments de base de chacune d'entre elles peuvent être classés généralement comme ceci : 1) un « canon » à électrons, susceptible de produire un courant d'électrons intense ; 2) une anode chargée positivement ou plaque, susceptible de recevoir le courant d'électrons ; 3) un système d'électrodes ou grilles situées entre 1 et 2 qui exercent une fonction de commande sur le courant électronique. Le canon peut n'être qu'un simple filament chauffé ou, dans le cas des tubes à rayons cathodiques, un ensemble compliqué d'éléments émetteurs et d'éléments accélérateurs. La triode possède le dispositif de commande le plus élémentaire, composé d'une simple grille de commande. La lampe à grille-écran ou tétrode (1928) naquit par l'introduction d'une seconde grille entre la grille de commande et l'anode, afin de réduire le *couplage** entre les circuits d'entrée et de sortie de la lampe et maintenir ainsi une amplification puissante et stable jusqu'aux hautes fréquences. La penthode (1929) avait cinq électrodes : une cathode, trois grilles et une anode. La grille supplémentaire, par comparaison avec la grille-écran de la tétrode, fut baptisée « grille d'arrêt » et son rôle consiste à empêcher les électrons secondaires émis par l'anode, lorsqu'on travaille sous une tension élevée, de venir gêner le bon fonctionnement de la lampe. Le tube de puissance à faisceau dirigé (1930) introduisit des électrodes supplémentaires entre la grille-écran et l'anode (mais pas directement sur le chemin des électrons), et dont le rôle consiste à diriger et concentrer le faisceau d'électrons vers l'anode.

Des tubes convertisseurs ou tubes mélangeurs apparurent aux environs de 1933. Ils contiennent deux séries d'électrodes dans un tube unique, électrodes se partageant le courant d'électrons émis par une cathode commune. Une série d'électrodes est conçue de manière à amplifier le signal radio haute fréquence d'entrée et l'autre engendre des oscillations. Celles-ci entrent en « battement » avec le signal d'entrée amplifié, ce qui a pour résultat de produire un signal contenant toutes les informations portées par le premier, mais de fréquence inférieure, donc beaucoup plus facile à manipuler. Des lampes de ce type entrèrent dans la réalisation des récepteurs hétérodynes dont nous avons déjà fait mention. Ce système se répandit rapidement.

Dans les tubes du début, la présence de gaz à l'intérieur de la lampe était néfaste, mais dès 1920, des tubes dans lesquels un gaz

choisi (tel que la vapeur de mercure ou l'un des gaz inertes : néon, argon, hélium, etc.) avait été volontairement introduit, se révélèrent posséder des caractéristiques intéressantes. Dans les tubes à gaz à cathode chaude, les électrons émis par la cathode entrent en collision avec les molécules de gaz, ce qui a pour résultat de produire des ions gazeux positifs et négatifs. Ce phénomène peut être mis à profit pour provoquer dans le tube une espèce d'avalanche, de sorte que, au-delà d'un certain point critique, une décharge massive se produit dans le tube. Pour le redressement du courant alternatif de grande intensité, de gros tubes dans lesquels le gaz employé est la vapeur de mercure obtenue à partir de cathodes contenant du mercure, sont en usage depuis 1920 environ. Ils constituent une source commode de courant continu.

On peut réaliser des diodes à décharge à gaz pour obtenir une tension de sortie qui soit presque indépendante du courant traversant le tube, et cela, tout au long d'une gamme considérable d'intensités différentes. Elles jouent ainsi le rôle de stabilisatrices de tension. Dans les triodes et tétrodes à gaz (appelées thyratrons), la grille de contrôle peut être utilisée pour déclencher une décharge subite dans le tube : triodes et tétrodes à gaz peuvent donc être employées comme interrupteur électronique.

Tous ces perfectionnements, et beaucoup d'autres encore, furent apportés aux tubes et aux circuits qui leur sont associés, augmentant à la fois leur rendement, leur vitesse et leur sûreté de fonctionnement, la gamme de leurs caractéristiques, leur coefficient d'amplification et leur puissance de sortie. Le nombre de leurs applications s'en accrut d'autant. Ils furent employés pour l'émission et la réception radio, pour la radiotéléphonie, dans les récepteurs de T.V., pour le cinéma sonore et dans les électrophones ainsi que dans de nombreux instruments électroniques de mesure et de commande utilisés dans l'industrie et dans les laboratoires.

Le tube à rayons cathodiques

Le tube à rayons cathodiques, qui est un des membres de la famille du tube thermoionique, a joué une part si importante

dans l'histoire de l'électronique, dans sa croissance et dans son expansion, qu'il mérite qu'une section spéciale y soit consacrée dans ce chapitre.

Les premières expériences (1879) de Sir William Crookes sur les décharges électriques dans des tubes où l'on avait pratiqué le vide, amenèrent la découverte des rayons cathodiques et inspirèrent à Crookes une hypothèse concernant leur nature, qui se révéla exacte (voir p. 29).

Les résultats des travaux de Hittorf, Elster et Geitel en Allemagne et de J.J. Thomson en Angleterre, qui révélèrent que les rayons cathodiques sont des courants d'électrons, découlèrent d'une meilleure connaissance des tubes à décharge qu'ils perfectionnèrent au fur et à mesure de leur fabrication et de leur emploi.

La même année (1897) où Thomson annonçait la découverte de l'électron, Karl Ferdinand Braun, de l'université de Strasbourg, fabriqua le premier oscilloscope à rayons cathodiques et fut ainsi l'initiateur d'un progrès considérable dans la réalisation et l'utilisation du tube à rayons cathodiques. Braun savait que le courant électronique dans le tube entre la cathode et l'anode, peut être dévié par un champ magnétique ; il plaça deux séries d'électro-aimants autour du col du tube à l'intérieur duquel le courant d'électrons est projeté en direction de l'anode. Une des deux séries d'électro-aimants dévie le faisceau d'électrons d'un côté à l'autre, et l'autre série, de haut en bas. Certains composés, chimiques, les phosphores, possèdent la propriété de s'illuminer sous l'impact des électrons et Braun utilisa l'un d'eux pour recouvrir un écran fluorescent placé à l'intérieur du tube de telle façon qu'il soit frappé par le faisceau d'électrons après sa déviation. Ainsi, le mouvement du faisceau électronique se traduit sur l'écran sous la forme d'une ligne lumineuse.

L'invention de Braun déclencha des travaux intensifs en vue de perfectionner le tube à rayons cathodiques qui, d'un engin de laboratoire destiné à l'étude des électrons, se mua en l'un des instruments les plus révolutionnaires de ce siècle. L'inertie du faisceau électronique est négligeable : il répond quasi instantanément à toute variation du champ au travers duquel il passe. Ce champ peut être magnétique comme dans le cas du premier tube inventé par Braun ; il peut également être électrostatique. Dans ce cas, il est engendré par des paires de plaques métalliques

électriquement chargées placées soit parallèlement, soit à angle droit avec le faisceau électronique. Toute variation dans le champ influençant le faisceau, se traduit donc immédiatement de manière fidèle sur l'écran fluorescent.

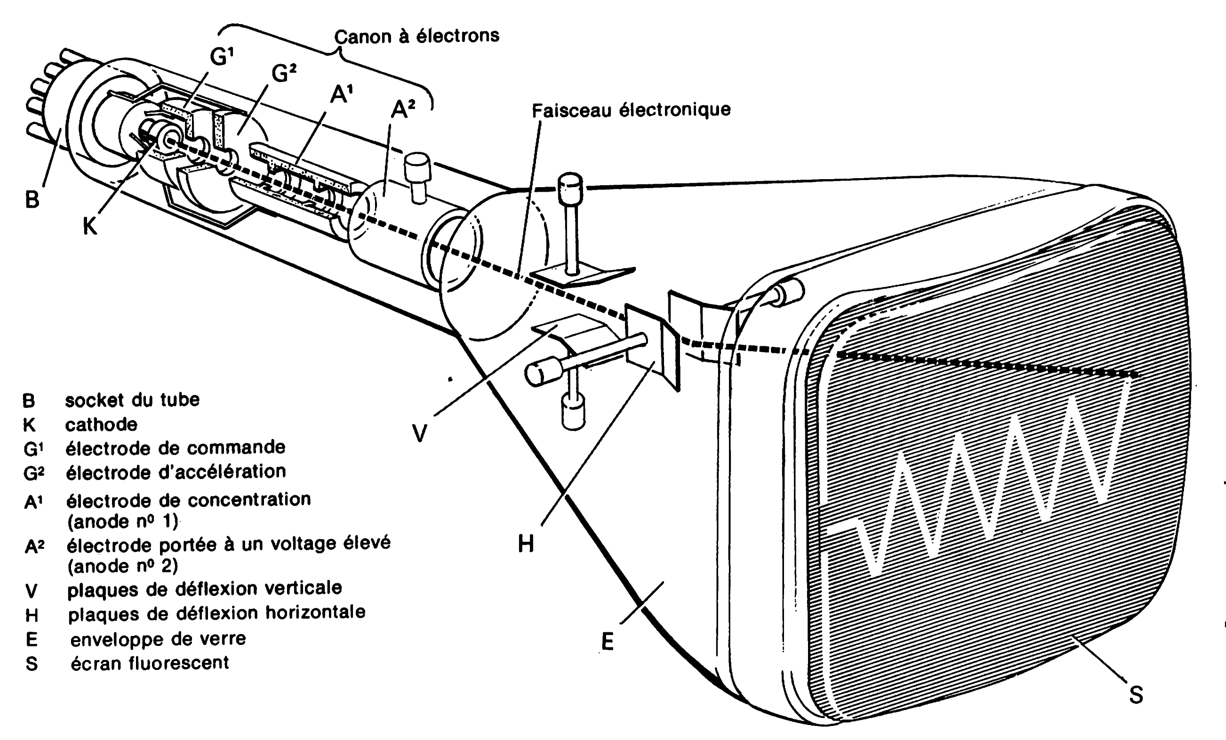
Puisqu'il est possible de convertir presque tout phénomène physique en des variations de courant ou de tension, celles-ci à leur tour font varier les champs de déflexion du tube à rayons cathodiques. Voilà une méthode sensible et de tout premier ordre pour mesurer aisément les phénomènes aux caractéristiques rapidement variables. Des événements ne durant qu'un millionième de seconde peuvent être suivis sur un tube à rayons cathodiques moderne et, avec les techniques les plus récentes, il est possible d'observer et d'enregistrer un phénomène ne durant qu'un millième de millionième de seconde ! Cette sensibilité et cette vitesse de réponse extraordinaires du tube à rayons cathodiques expliquent le succès de son utilisation la plus connue : le tube-image moderne du récepteur de télévision dont la fabrication constitue aujourd'hui une industrie importante (voir fig. 20). Il serait difficile de trouver dans un ménage un autre article qui soit un condensé d'autant de recherches scientifiques d'avant-garde et de techniques appliquées.

Comme nous le verrons dans les chapitres suivants, le tube à rayons cathodiques fut un élément essentiel dans le développement de la télévision et du radar, et il a doté les savants et les ingénieurs d'un outil nouveau de valeur inestimable. Il a été un facteur important dans la croissance de l'électronique.

La cellule photo-électrique, l'iconoscope et le « dissector d'image »

L'effet photo-électrique — l'éjection d'électrons hors d'atomes, au moyen de photons de lumière — a été traité dans le chapitre 2, mais cet effet était connu avant que Planck et Einstein ne fournissent les bases théoriques nécessaires pour l'expliquer. En

Figure 20. La structure d'un tube à rayons cathodiques moderne à déviation électrostatique.


Canon à électrons
G¹
G²
A¹
A²
Faisceau électronique
B
K
V
H
E
S
B socket du tube
K cathode
G¹ électrode de commande
G² électrode d'accélération
A¹ électrode de concentration (anode nº 1)
A² électrode portée à un voltage élevé (anode nº 2)
V plaques de déflexion verticale
H plaques de déflexion horizontale
E enveloppe de verre
S écran fluorescent

1887, Hertz découvrit que des électrons sont, sous l'action de la lumière, émis par des métaux alcalins chargés négativement, tels que le sodium et le potassium. Une cellule photo-électrique basée

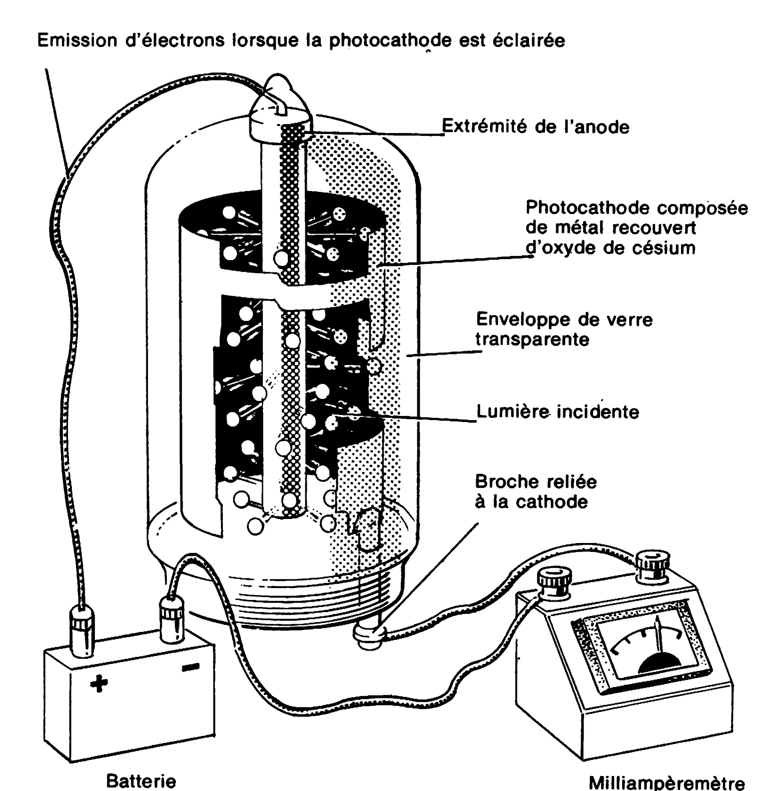


Figure 21. Principe de la cellule photo-électrique.

sur ce principe, fut mise au point en 1905 par Elster et Geitel en Allemagne, mais ces premières cellules photo-électriques étaient peu sensibles et leur fonctionnement plutôt fantasque.

Aussi demeurèrent-elles avant tout des instruments de laboratoire jusqu'aux environs de 1920. Les recherches appliquées entreprises en matière de télévision et l'introduction du cinéma sonore dans les années 1920 entraînèrent des améliorations très importantes des cellules photo-électriques qui devinrent, tout comme le tube à rayons cathodiques, des engins d'usage courant et des instruments scientifiques extrêmement utiles (voir fig. 21).

Quand Vladimir Zworykin, qui travaillait pour la Compagnie Russe de Télégraphie et de Téléphonie sans Fil, émigra en Amérique après la Révolution russe, il avait déjà imaginé un système électronique de transmission et de réception des images. Il se joignit à l'équipe de recherches des laboratoires Westinghouse et travailla d'abord sur les cellules photo-électriques. Il fabriqua une cellule équipée d'un élément photo-sensible composé de césium et de magnésium : elle était de loin plus sensible que les toutes premières cellules photo-électriques et était même supérieure à la cellule césium-argent mise au point à peu près à la même époque par la General Electric en Angleterre.

Les travaux de Zworykin furent immédiatement mis en application dans le cinéma sonore. Comme les premiers films parlants remportèrent un succès énorme lorsqu'ils sortirent en Amérique aux environs de 1926, il en résulta immédiatement une forte demande pour des cellules plus perfectionnées et pour des amplificateurs nécessaires pour reproduire les bandes sonores des films.

Mais Zworykin recherchait avant tout une cellule photo-électrique qui convertirait les images en courant électrique, images pouvant être transmises à distance. En 1928, il découvrit ce moyen : l'iconoscope (voir fig. 22 et 23). L'iconoscope (le premier tube de caméra de T.V.) est un tube thermoionique dans lequel l'image lumineuse à transmettre est concentrée par un système optique sur une plaque qui sert de cible. Cette plaque est une feuille de mica enduite sur un côté de minuscules gouttelettes d'argent de façon à former une mosaïque, chaque gouttelette étant isolée de ses voisines. Sur l'autre côté du mica, on dispose un fin film conducteur métallique relié à l'entrée d'un amplificateur. Un « canon à électrons », situé dans le col de l'iconoscope, envoie un faisceau d'électrons sur la mosaïque et ce faisceau est dévié de façon à explorer toute la surface de la cible, la mosaïque étant parcourue du haut en bas, ligne par ligne. Chaque gouttelette constitue une cellule photo-électrique particu-

Voir cette coupe agrandie fig. 23

Les charges accumulées sur la mosaïque sont déchargées par un faisceau électronique l'explorant à grande vitesse

Scène à téléviser

Lentilles

Bobines de déflexion

Anode

Faisceau d'électrons

Canon à électrons

Le courant varie suivant la charge accumulée sur la mosaïque

Figure 22. Schéma simplifié exposant le principe de l'iconoscope.

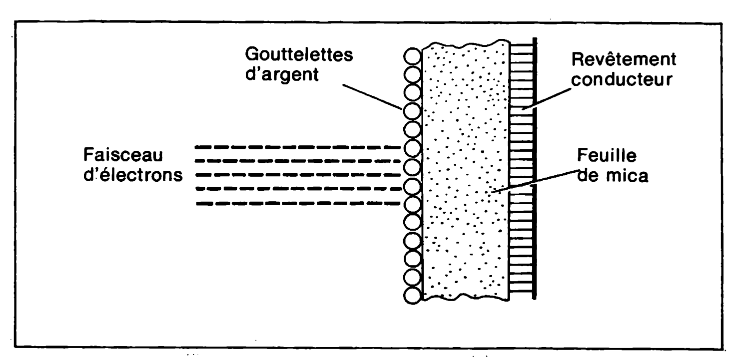


Figure 23. Coupe agrandie de la mosaïque de l'iconoscope.

lière qui se charge positivement plus ou moins fort suivant le degré d'éclairage de l'élément correspondant de l'image. Les électrons fournis par le faisceau électronique neutralisent les charges positives et de petites décharges de courant ainsi produites sont transmises, à travers le film métallique, de l'autre côté de la feuille de mica. Cette rapide succession de minuscules décharges envoyées à l'amplificateur constitue le courant « vidéo » (*video* = je vois). Après avoir achevé une ligne horizontale complète, le faisceau électronique revient au début de la ligne suivante, un peu plus bas. Durant cette rapide marche arrière, un signal d'effacement supprime tout signal qui pourrait naître durant le temps de retour.

Quand l'iconoscope est intégré à un système de télévision, le déplacement du faisceau électronique de l'émetteur se fait parallèlement à celui du récepteur (comprenant un tube à rayons cathodiques) au moyen de signaux de synchronisation transmis durant les périodes d'effacement. L'iconoscope met à notre disposition, pour explorer l'image, un moyen électronique beaucoup plus pratique que les systèmes mécaniques ingénieux mais compliqués que l'on avait essayés en Amérique et en Grande-Bretagne. Quoique l'iconoscope fut une belle réalisation technique pour 1928, il semble presque rudimentaire comparé aux tubes perfectionnés des caméras de télévision d'aujourd'hui.

Zworykin accomplit son œuvre grâce à l'appui et aux ressources de très grandes et très puissantes organisations industrielles : jusqu'en 1930, ce furent la General Electric et Westinghouse, et après 1930, la Radio Corporation of America (R.C.A.) qui prit en charge ses intérêts en matière de radio et de télévision. Philo Farnsworth, le garçon de ferme de l'Idaho, qui avait commencé à s'intéresser à la télévision en lisant des magazines de vulgarisation, inventa et mit au point, presque seul, un système électronique de télévision pouvant rivaliser avec celui de Zworykin. Le système de Farnsworth est un ingénieux « dissector d'image ». Au lieu d'explorer l'image point par point et ligne par ligne, Farnsworth découpe l'image en un certain nombre de segments, égal au nombre d'éléments d'image nécessaires pour transmettre au-delà d'un trou d'exploration. Le tube à vide d'air poussé qu'est le dissector d'image servant de caméra, possède à un bout une photo-cathode qui reçoit l'image projetée au moyen d'une lentille située en dehors du tube. Une électrode spéciale provoque le

déplacement de l'image électronique tout au long du tube jusqu'au trou d'exploration. Ce trou d'exploration de l'image doit être très petit pour assurer une bonne *définition** à l'image et, en conséquence, le signal de sortie étant produit par le nombre limité d'électrons qui traverse cette ouverture, est très faible. Farnsworth remédia à cette déficience de manière très originale. Il conçut un dispositif qui s'est révélé être une invention encore plus importante que celle du dissector d'image lui-même : le « multiplicateur d'électrons ».

Nous avons déjà considéré deux méthodes pour libérer des électrons au sein de tubes électroniques : l'émission thermoionique et l'émission photo-électrique. Une troisième voie possible est l'émission secondaire, qui utilise le phénomène produit lorsqu'un électron est projeté sur une plaque métallique portée à une tension convenable : plusieurs électrons secondaires sont émis par cette plaque. Farnsworth disposa une série de petites anodes à l'intérieur du dissector d'image, chaque anode étant à une tension plus élevée que la précédente, de sorte qu'en passant de l'une à l'autre, le nombre d'électrons est multiplié. De cette façon, le nombre relativement réduit d'électrons passant par l'ouverture d'exploration, et allant frapper la première anode, sort finalement à l'autre bout de la cascade de plaques multiplié plusieurs milliers de fois (voir fig. 24).

Farnsworth réussit à obtenir une aide financière pour exploiter son invention et sa firme sortit gagnante de la plupart des inévitables conflits avec la R.C.A. au sujet de brevets. Cependant, Farnsworth trouva trop épuisant le rôle d'un David inventif défiant un Goliath trop puissant et il se retira de la bagarre en 1940, à l'âge de trente-quatre ans, pour vivre dans une ferme, dans le Maine, où il construisit son petit laboratoire personnel. Sa biographie illustre le fait qu'à notre époque, l'inventeur isolé est grandement désavantagé vis-à-vis des équipes de chercheurs. Néanmoins, ses inventions ont considérablement contribué au développement de la science et son multiplicateur d'électrons se range parmi les contributions les plus importantes apportées à la technique moderne, et particulièrement à la télévision.

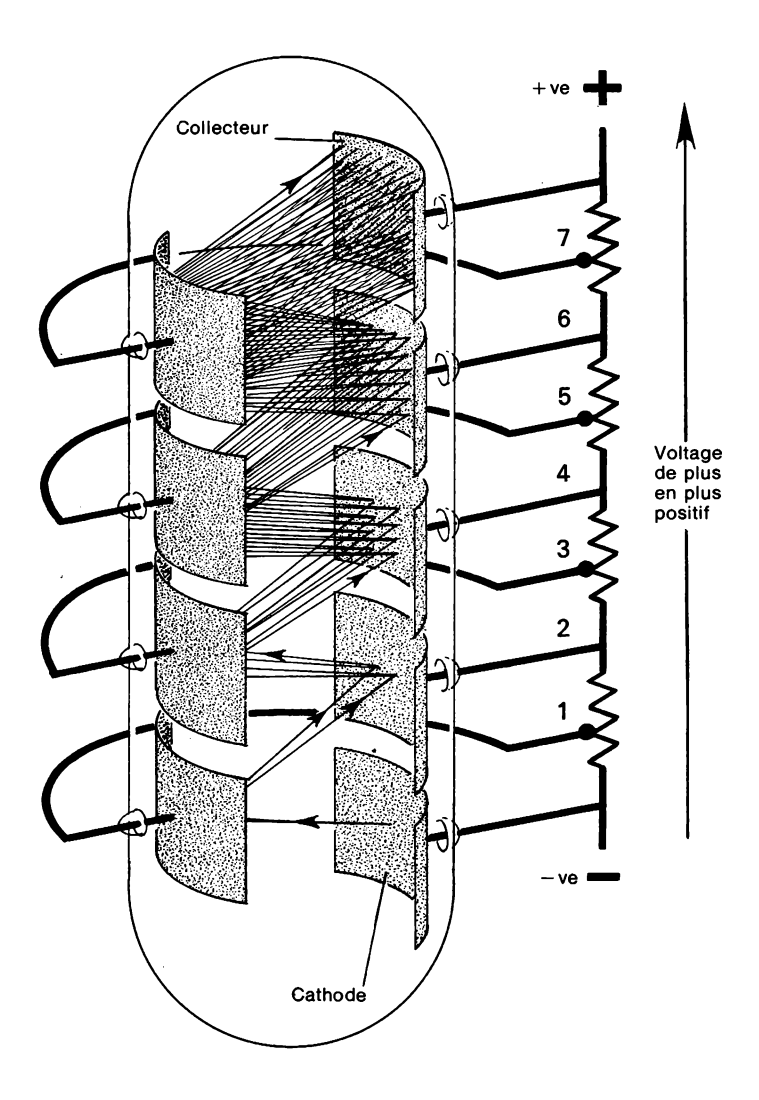


Figure 24. Ce dessin montre le fonctionnement du photomultiplicateur.

La période 1939-1949

Avant 1939, l'adjectif « électronique » était utilisé presque exclusivement par les physiciens et se rapportait à l'électron et à ses propriétés plutôt qu'aux pièces et montages électroniques. Le mot électronique n'entra dans l'usage courant qu'après la seconde guerre mondiale pour désigner les applications — en dehors de la radio — des dispositifs électroniques fabriqués alors : les tubes thermoioniques et les cellules photo-électriques. L'industrie électronique dont les bases avaient été jetées d'abord en temps de paix, avait pris son essor au milieu de la bourrasque de la guerre, et, depuis lors, avait acquis de la vigueur en se développant considérablement.

Les industries électriques, tout comme les industries connexes du téléphone et de la radio, en Allemagne et au Japon, ensuite en Grande-Bretagne et aux Etats-Unis, et puis finalement dans chaque nation industrielle du monde, s'étaient orientées de plus en plus vers la technique exigée par la guerre moderne dans laquelle l'électronique jouait un rôle croissant.

Lors de la première guerre mondiale, la main-d'œuvre scientifique tout comme les ressources avaient été gaspillées de manière stupide : on les envoyait sans discernement au massacre général. Cette fois, les gouvernements et les chefs militaires modifièrent leur attitude lorsqu'ils saisirent l'importance vitale de la science et de la technique dans la guerre moderne. En Grande-Bretagne, beaucoup d'ingénieurs, de savants et de techniciens qui avaient été rappelés sous les armes en 1939 et 1940, furent renvoyés à leurs laboratoires et à leurs usines où leurs efforts devaient être plus fructueux. Les Allemands avaient déjà transformé leurs industries du temps de paix en machines de guerre. Cependant, la persécution furieuse des nazis, surtout à partir de 1933, contre les Juifs, les libéraux et les libres penseurs, força nombre de savants parmi les meilleurs à fuir l'Allemagne et à proposer leurs services à la Grande-Bretagne et aux Etats-Unis. Le plus célèbre d'entre eux est Albert Einstein. Leur collaboration à l'effort de guerre des Alliés permit à ceux-ci de garder la place prépondérante qu'ils avaient acquise en matière de radar, de canons à tir contrôlé et dans le domaine des armes nucléaires.

Quand les Etats-Unis commencèrent à mettre leurs immenses

ressources à la disposition de l'industrie électronique pour qu'elle produise rapidement des équipements de télécommunications, des installations de radar, des appareils de contrôle de tir et de défense antiaérienne, etc., l'expansion de l'industrie électronique en Amérique débuta. En conjonction avec la position de pointe en matière de recherche tenue par la Grande-Bretagne au début de la guerre, cette expansion assura la supériorité technique des Alliés. Les découvertes des savants britanniques en matière d'électronique — en particulier le radar — étaient mises au point par des équipes d'ingénieurs américains à un rythme accéléré et sur une échelle jamais atteinte en temps de paix. Tandis que l'électronique était mise à contribution par la logistique, pour la fabrication d'armes et d'appareils de détection, les dirigeants des deux camps en présence ne manquèrent pas de lancer la radio dans la bataille de la propagande qui devint de plus en plus intense. Quant aux réseaux téléphoniques — fonctionnant eux aussi à base d'électronique — il est inutile de s'attarder longtemps à souligner leur importance vitale au cours de la guerre aussi bien dans le domaine militaire que civil.

Les exigences des militaires au sujet des performances demandées aux pièces électroniques amenèrent des améliorations considérables qui se traduisirent par un meilleur rendement et une sûreté de fonctionnement accrue. On mit au point des lampes miniatures munies d'électrodes très robustes, lampes qui furent immediatement produites en grande série. D'autre part des perfectionnements notables intervinrent dans la technique de fabrication intensive de tubes thermoioniques et des composants qui y sont associés. L'aviation des deux camps fit usage de quantités d'équipements et d'instruments électroniques. La recherche de matériaux ultralégers nécessités par de tels équipements prit une des premières places sur la liste des urgences de la guerre aérienne. Dans la dernière partie du conflit, l'obligation de trouver les moyens de résoudre rapidement des problèmes complexes en matière de contrôle de tir, dans le domaine de l'artillerie navale, de la balistique et des armes téléguidées mena à l'élaboration des premiers ordinateurs électroniques.

Les recherches sur la bombe atomique, sa mise au point, sa fabrication et finalement le largage de deux bombes sur Hiroshima et Nagasaki n'auraient pas été possible sans l'électronique et ses instruments.

A la fin de la guerre, l'Amérique et la Grande-Bretagne avaient créé une puissance industrielle formidable et mis au point la technique de production en grande série de l'appareillage électronique. Des milliers de savants, d'ingénieurs et de techniciens avaient été formés et avaient acquis leur expérience en pratiquant l'électronique. A la fin des années 1940, l'électronique n'était pas seulement devenue une industrie mais également une véritable carrière pour les diplômés d'études scientifiques et techniques.

Le radar et le magnétron

Le radar — mot forgé par la Marine américaine à partir de l'expression « RAdio Detection And Ranging » (détection et télémétrie par radio) — est un des facteurs principaux qui provoquèrent la croissance rapide de l'électronique durant et après la guerre. On peut situer ses origines en 1904, lorsque le professeur R. Fessenden de l'université de Pittsburgh construisant un détecteur de profondeur, utilisa les impulsions d'un oscillateur haute fréquence. Mais les expériences qui préludèrent véritablement à la naissance du radar furent l'utilisation d'ondes radio d'une part, par Sir Edward Appleton en Grande-Bretagne, et d'autre part, par les équipes de chercheurs de la Fondation Carnegie en Amérique pour déterminer la hauteur des différentes couches de l'atmosphère (voir p. 115).

Le principe du radar est très simple : un faisceau d'ondes est dirigé vers l'objet à détecter. Une partie des ondes est réfléchie par cet objet vers l'émetteur. On mesure le temps séparant le départ des ondes du retour des ondes réfléchies. Comme on connaît la vitesse des ondes, il est facile de déterminer la distance séparant l'objet de l'émetteur (voir fig. 25).

En utilisant plus d'un émetteur ou bien un faisceau dont l'orientation est déterminée avec exactitude, la position et l'éloignement de l'objet peuvent être établis avec précision. Ceci est sans problème lorsqu'il s'agit de détecter un objet fixe de grandes dimensions, comme une falaise située à quelques kilomètres en avant d'un navire : les marins ont longtemps eu recours à

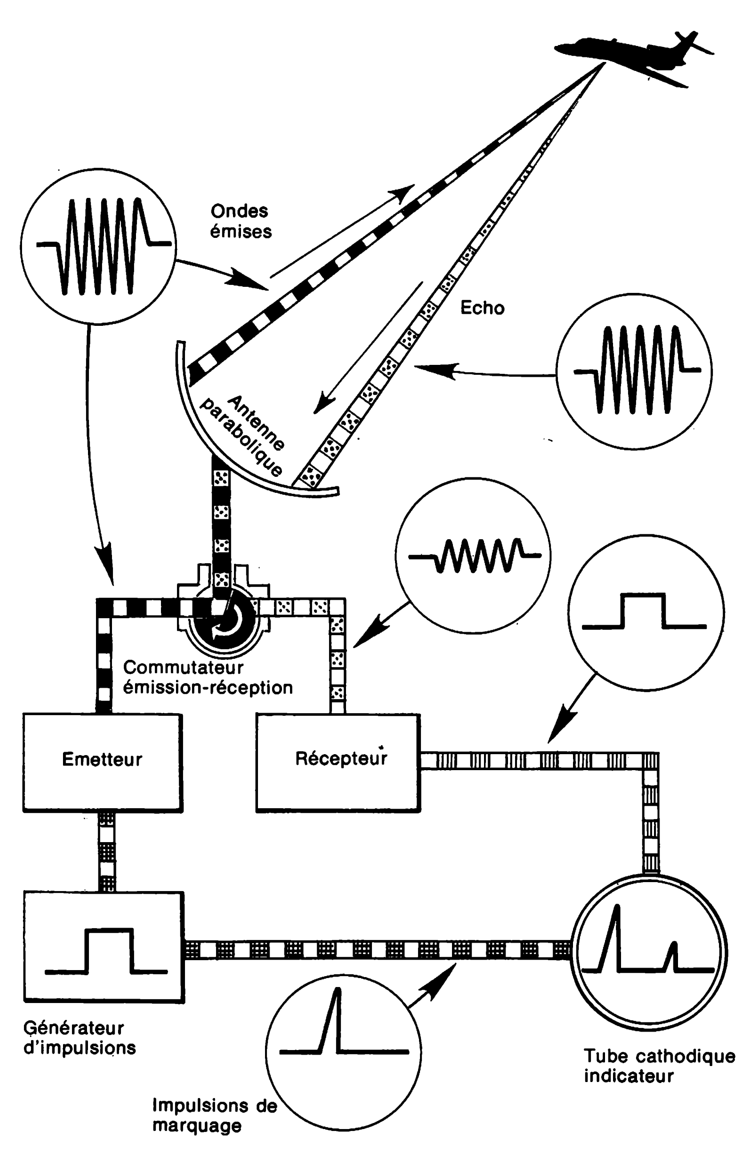


Figure 25. Les principales parties d'un radar.

une méthode consistant à tirer un coup de feu en direction de la falaise et à mesurer avec un chronomètre le temps mis par l'écho pour revenir au navire, en tenant compte que le son met 10 secondes pour parcourir un mille aller et retour. Toutefois, si par exemple la cible est un avion volant à 800 km/h et s'il est éloigné de 15 km de l'émetteur, il est hors de question dans ce cas d'avoir recours aux ondes sonores. Il faudrait le bruit d'une éruption volcanique pour obtenir un écho décelable en provenance d'un avion situé à 15 km. De plus, l'appareillage employé pour concentrer le son à la réception de manière à ne capter que les échos provenant de l'avion, devrait avoir plusieurs kilomètres d'envergure. En supposant même que l'on ait réalisé quelque appareil gigantesque de ce genre, il ne serait d'aucune utilité puisqu'il faudrait attendre 88 secondes l'arrivée de l'écho, temps durant lequel l'avion aurait progressé de quelque 19 kilomètres.

Le radar emploie les ondes électromagnétiques, lesquelles voyagent à la vitesse de la lumière (300 000 km/s). Cependant, avant qu'il n'ait été mis parfaitement au point, il a fallu résoudre de très gros problèmes techniques. Robert Watson-Watt, qui dirigea une équipe de savants anglais au cours des années 1930, poursuivit les travaux de Sir Edward Appleton, d'abord en utilisant des ondes entretenues, et ensuite, des ondes travaillant en régime d'impulsions. Les oscillateurs à triode dont il disposait n'étaient capables de fournir que quelques watts à la fréquence élevée (ondes courtes) où il fallait travailler. Et, puisque moins d'un millionième de millionième de la puissance émise était renvoyé par la cible choisie, il était indispensable d'avoir un récepteur extrêmement sensible pour détecter ce faible écho. Pour revenir de la cible à la vitesse de 300 000 km/s, les ondes mettent seulement quelques millionièmes de secondes. Pour mesurer électroniquement ce temps, on a eu recours à l'oscilloscope cathodique (voir p. 73). Les antennes de l'émetteur étaient installées au sommet de hautes tours. Une série de ces antennes fut placée aux points stratégiques, tout au long des côtes du Sud et de l'Est de l'Angleterre. Réussir à avoir en main un système de radar prêt à fonctionner dès l'ouverture des hostilités fut un remarquable exploit accompli par l'équipe de savants anglais. Grâce à ce radar, l'approche des bombardiers ennemis était immédiatement signalée. Le rôle décisif joué par le radar dans la Bataille d'Angleterre et, en conséquence, son influence décisive

sur le cours ultérieur de la guerre n'est plus à souligner. Quand la Luftwaffe inaugura ses bombardements de nuit sur la Grande-Bretagne, on se rendit bientôt compte de la nécessité d'équiper les avions d'un système analogue : c'était indispensable aux chasseurs volant la nuit pour détecter et intercepter les bombardiers ennemis.

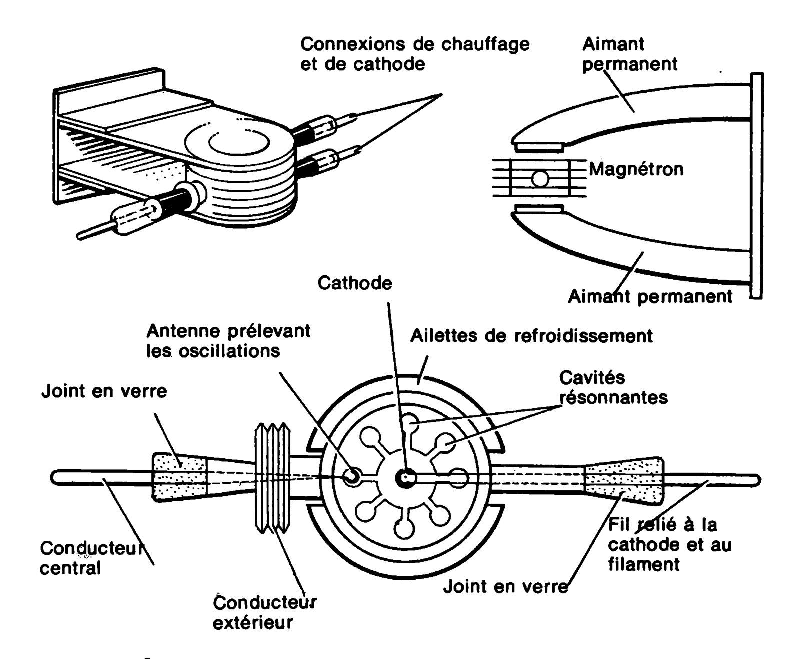


Figure 26. Les différentes parties d'un magnétron.

La technique du radar terrestre avait déjà été poussée jusqu'à son extrême limite. Elle devenait sans utilité pour cette nouvelle tâche puisque ses antennes, dont les dimensions sont directement proportionnelles à la longueur d'onde employée, étaient trop grandes pour pouvoir être montées sur un avion. Et imaginer des antennes plus petites signifiait choisir d'avoir recours à des

longueurs d'onde plus petites, c'est-à-dire à des fréquences plus élevées. On avait besoin d'un appareil capable de produire de puissantes impulsions d'ondes de très haute fréquence. Un tel appareil avait été inventé en Grande-Bretagne en 1939 par deux physiciens, J.T. Randall and H.A.H. Boot. Il s'agit du « magnétron à cavités résonnantes » : « un tube » thermoionique conçu de manière très peu orthodoxe. L'anode du magnétron, qui doit être réalisé avec un métal à la fois bon conducteur électrique et thermique, est usinée dans une barre de cuivre de façon à obtenir une disposition symétrique des cavités résonnantes, avec une cathode en son centre sous la forme d'un fil de tungstène. Les deux faces du bloc usiné sont fermés par des disques en cuivre. Lorsqu'il fonctionne, le magnétron est placé entre les pôles d'un aimant très puissant. Comme l'anode est en même temps portée à une tension positive élevée, les électrons sont amenés à traverser à la fois un champ magnétique et un champ électrique et leur mouvement giratoire à l'intérieur des cavités engendre des oscillations de haute fréquence, de l'ordre de 3 000 mégacycles par seconde (un mégacycle = un million de cycles), soit une longueur d'onde d'environ 10 cm. Ces oscillations sont captées à l'intérieur du magnétron au moyen d'une boucle métallique passant à travers un isolateur en verre. Elles sont ensuite envoyées sur une ligne adaptée à ce genre de longueurs d'onde et appelée « guide d'ondes » (voir fig. 26). Le tout premier magnétron à 6 segments fabriqué par Randall et Boot, à l'université de Birmingham, avait fourni une oscillation entretenue d'une puissance d'environ 150 watts. A la suite de recherches menées avec l'aide des laboratoires de la General Electric et de la filiale anglaise de Thomson-Houston, on introduisit des cathodes recouvertes d'oxydes qui permirent au magnétron d'émettre des *impulsions** d'une longueur d'onde de 10 cm et d'une puissance qui, en laboratoire, pouvait monter jusqu'à 50 kilowatts.

En septembre 1940, comme le nombre de navires alliés torpillés allait croissant et que la guerre avait atteint un point critique, une mission britannique, dirigée par Sir Henry Tizard, se rendit aux Etats-Unis emportant avec elle dans une petite boîte le tube encore secret. Le 6 octobre 1940, le magnétron était testé au laboratoire Whippany de la Bell Telephone. Les techniciens parvinrent à lui faire produire une impulsion de 10 kilowatts, à une fréquence d'environ 3 000 mégacycles. Cela équivalait à une

puissance cinq fois plus grande, et à une fréquence quatre fois plus élevée que ce que l'on pouvait obtenir des meilleures triodes ! Les travaux de mise au point de systèmes de radar pouvant être installés sur des avions, et faisant usage du magnétron, démarrèrent sur-le-champ. On jugera de l'importance du rôle joué par le magnétron grâce à cette observation, extraite du livre *Une histoire du radar* de A.L. Rowe, un des pionniers du radiorepérage : « J'imagine que peu de personnes disposant de tous les éléments, hésiteraient à désigner le magnétron à cavités résonnantes comme ayant eu plus que tout autre dispositif scientifique élaboré durant la guerre, un effet décisif sur l'issue de celle-ci. Il a eu une importance beaucoup plus grande que la bombe atomique, qui n'a eu aucun effet sur la guerre contre l'Allemagne et contribua seulement à raccourcir celle contre le Japon plutôt que d'influer sur son issue. »

Plus que l'importance du magnétron durant la guerre, nous nous intéressons dans ce chapitre à son influence sur le développement de l'électronique. On peut affirmer qu'elle fut considérable.

Les laboratoires industriels et universitaires de Grande-Bretagne et des Etats-Unis coopérèrent dans un effort sans précédent pour mettre au point le radar à *micro-ondes**, rendu possible par le magnétron. Le fameux laboratoire des Radiations du M.I.T. (Institut de Technologie du Massachusetts) fut mis sur pied en novembre 1940, pour travailler à la mise au point du radar. A la fin de la guerre, ce laboratoire employait des milliers de savants et d'ingénieurs. Le résultat de ses travaux est consigné dans pas moins de 28 gros volumes, une véritable mine pour les ingénieurs spécialisés de la génération d'après-guerre.

La conception et la fabrication du magnétron firent avancer l'électronique à la fois sur le plan de la théorie et sur celui de la pratique. La mise au point de matériaux nouveaux et de nouvelles techniques furent nécessaires pour obtenir un vide poussé dans le magnétron. Des alliages magnétiques aux propriétés remarquables furent inventés pour permettre la fabrication d'aimants puissants mais compacts, destinés à fournir le puissant champ magnétique requis par le magnétron.

Comme il était indispensable d'interrompre plusieurs millions de fois par seconde le courant alimentant le magnétron afin d'obtenir des ondes pulsées, on mit au point des interrupteurs

électroniques supportant de très hautes tensions, tels que le « thyratron à hydrogène ». Puisque les micro-ondes engendrées par le magnétron ne pouvaient être transmises par des fils conducteurs ordinaires sous peine de fortes pertes, d'interférences et de distorsion, on créa une technique nouvelle : les guides d'onde.

En outre, des perfectionnements considérables furent apportés au tube à rayons cathodiques, élément essentiel du radar puisque c'est lui qui constitue l'écran radar. Le radar donna pareillement naissance à une technologie entièrement nouvelle. Des tubes spéciaux, tel le klystron, furent mis au point pour être montés sur des récepteurs extrêmement sensibles. Les composants non actifs — tels que les transformateurs, les atténuateurs, les résistances, les condensateurs, etc. — associés aux autres éléments purement électroniques, furent fabriqués pour répondre aux spécifications beaucoup plus rigoureuses de la technique des impulsions. Par la même occasion, on augmenta encore leur sûreté de fonctionnement. Tout comme pour l'appareillage, le « hardware », on perfectionna considérablement la technique de fabrication des circuits électroniques et les techniques de mesure ; on améliora aussi le rendement des systèmes radar et l'on accrut leurs performances.

Durant les vingt années qui suivirent la guerre, le développement rapide du radar en ce qui concerne ses utilisations pacifiques s'est poursuivi parallèlement sur le plan de ses utilisations militaires. Beaucoup de ces utilisations seront mentionnées plus loin.

Transistors et semi-conducteurs

Tous les tubes électroniques que nous avons examinés jusqu'ici, emploient des électrons à l'état libre se déplaçant dans le vide (en pratique, le vide parfait n'existe pas : il reste toujours quelques traces de gaz) ou à travers des gaz sous faible pression. Dans ces tubes, le comportement des électrons était bien compris après un demi-siècle de pratique : on était capable de déterminer avec précision leur comportement au milieu de champs magnétiques et

électriques. On savait également que ce comportement était peu influencé par les forces internes des atomes. Néanmoins, longtemps avant la découverte de la diode thermoionique, on utilisait des composants faits de cristaux solides qui jouissaient de la propriété d'être meilleurs conducteurs de courant dans un sens que dans l'autre. Le récepteur à galène, qui était si populaire lors des débuts de la radio dans les années 1920, se composait d'un cristal sur lequel on posait délicatement une fine pointe métallique. On disposait ainsi d'une sorte de diode qui redressait le courant. Des diodes à cristal, employant le silicium, se révélèrent être des *redresseurs** beaucoup plus efficaces pour les signaux haute fréquence du radar que toute autre diode thermoionique disponible avant-guerre. Mais personne ne comprenait alors le fonctionnement de ces diodes à cristal. Elles étaient toutes fabriquées avec des corps que nous appelons maintenant « semi-conducteurs » : ces substances se situent à mi-chemin entre les isolants et les conducteurs ; elles s'opposent moins au passage du courant que les isolants mais d'autre part, sont moins bonnes conductrices que les vrais conducteurs. Bien que depuis longtemps, on utilisait ces semi-conducteurs comme redresseurs, personne n'avait jamais réussi à les employer comme *amplificateurs*. Jusqu'en 1948...

C'est cette année-là que John Bardeen et Walter Brattain des laboratoires de la Bell Telephone découvrirent le transistor à pointes. William Shockley, qui travaillait également aux laboratoires Bell, inventa peu de temps après, le transistor à jonctions. Ces découvertes étaient loin d'être le résultat d'heureux accidents : elles virent le jour après de nombreuses tentatives variées, entreprises au cours de la décade précédente, en vue de mettre au point des dispositifs solides pouvant servir d'amplificateurs. Ces recherches s'appuyaient sur les progrès réalisés en matière de théorie de la physique des solides s'étendant sur une cinquantaine d'années. Bardeen, Brattain et Shockley avaient entrepris des études théoriques et pratiques pour trouver le moyen de commander la résistance d'une couche d'un corps semi-conducteur à l'aide d'un champ électrique suffisamment puissant pour en traverser la surface. Ils découvrirent que s'ils disposaient convenablement deux pointes en fil très fin sur la surface du semi-conducteur (du germanium) très près l'une de l'autre et une troisième électrode commune ailleurs sur le germanium, le cou-

rant s'établissant entre une électrode et l'électrode commune pouvait être influencé par le courant passant par l'autre électrode. Dans certaines conditions, les faibles variations du courant appliqué à une électrode se traduisaient sur l'autre par des variations amplifiées.

Bardeen, Brattain et Shockley ont fait là des découvertes appelées à bouleverser une nouvelle fois l'électronique et en conséquence, notre avenir. Le rôle important qu'ils ont joué a été officiellement reconnu en 1956 lorsqu'ils ont reçu tous trois le prix Nobel de Physique.

Le transistor à pointes emploie un petit disque de germanium — un semi-conducteur caractéristique jouissant à la fois de propriétés des corps métalliques et de celles de corps non métalliques — sur la surface duquel on appuie deux pointes métalliques à une distance très rapprochée. La première est appelée émetteur et la seconde collecteur. Elles jouent le rôle de la cathode et de l'anode dans la diode thermoionique. Une troisième électrode appelée base, est placée sur l'autre face du disque de germanium ; elle possède une plus grande surface de contact. Ce transistor peut être employé pour amplifier des courants de faible intensité mais il n'a jamais dépassé de beaucoup le stade du laboratoire. La raison principale en est que sa structure limite très sérieusement l'intensité des courants qu'il peut supporter (voir fig. 27).

Le transistor à pointes a joué un rôle très important puisqu'il a démontré que l'on pouvait exploiter pratiquement le courant électronique traversant les cristaux. Il fournit aussi les bases expérimentales sur lesquelles Shockley et d'autres savants bâtirent la théorie du transistor à jonctions qui prédit avec précision les propriétés que possèderaient les transistors réalisés deux ans plus tard. Quelques considérations (très simples) sur les propriétés des semi-conducteurs nous permettront de comprendre la théorie des transistors.

Les caractéristiques électriques des semi-conducteurs qui, comme nous l'avons déjà vu, se situent entre celles des isolants et celles des conducteurs, dépendent de leur structure cristalline. Les cristaux le plus communément employés sont le silicium et le germanium, deux éléments du même groupe que le carbone et qui revêtent la même structure cristalline que le diamant : les atomes qui les composent sont disposés de façon très symétrique

et chaque atome est entouré de quatre atomes périphériques situés à égale distance et placés comme aux coins d'un cube. Les forces qui maintiennent la cohésion des atomes proviennent de la répartition des électrons entre les atomes. Carbone, silicium et germanium sont semblables parce que chacun de leurs atomes a quatre électrons à partager. Dans les cristaux de ces corps, chaque atome forme un système comprenant quatre liaisons avec

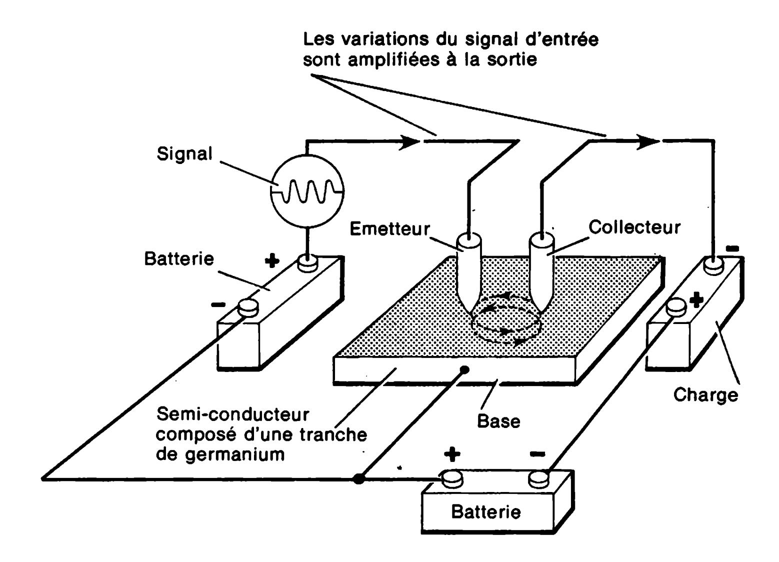


Figure 27. Ce schéma simplifié montre la façon dont un transistor à pointes amplifie un signal.

ses quatre voisins, chaque liaison comporte deux électrons possédés en commun. Si la structure du cristal est parfaite, chaque électron est fortement lié à ses atomes et ne joue aucun rôle lorsque le courant traverse le corps ; le cristal se comporte alors comme un isolant. Pour que le cristal puisse être employé au sein d'un transistor, on détruit sa perfection en y introduisant un nombre infime d'atomes d'un autre corps (voir fig. 28).

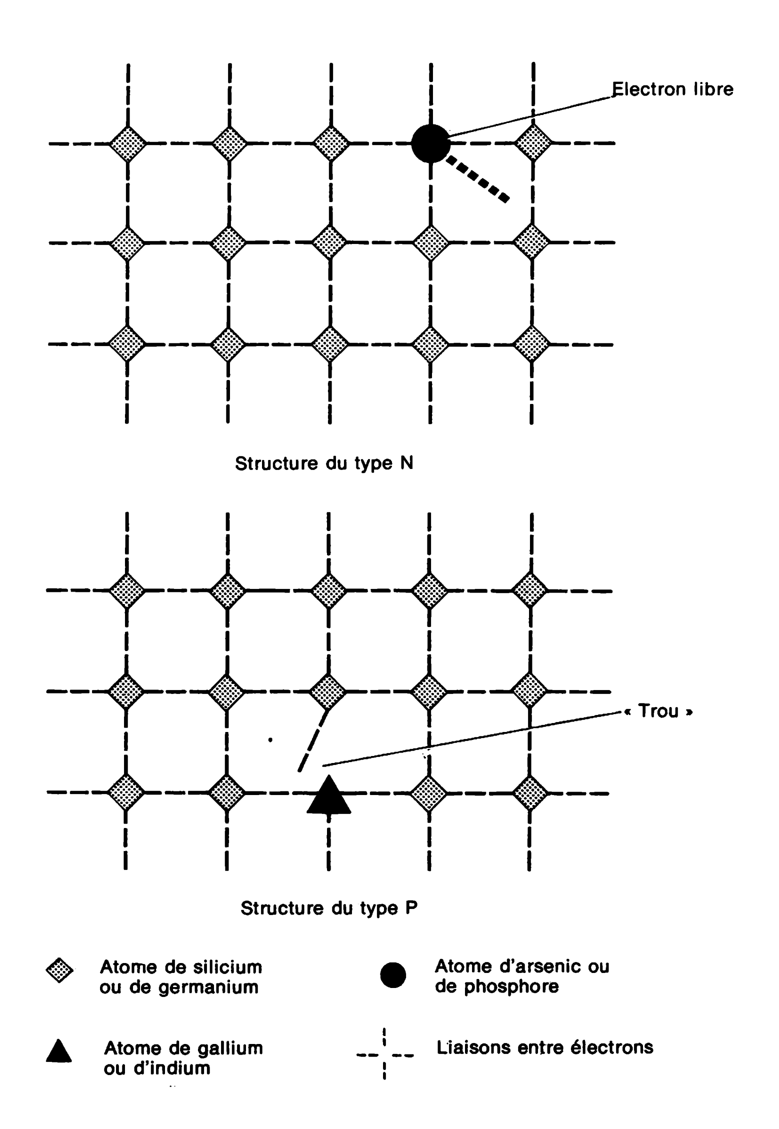


Figure 28. Un atome étranger au sein d'un cristal semi-conducteur peut y introduire soit un électron supplémentaire, soit un « trou ».

Si, par exemple, une trace d'arsenic est introduite dans un cristal de germanium pur, quelques atomes d'arsenic prennent la place d'atomes de germanium au sein du cristal. Alors, puisque l'arsenic possède cinq électrons dans son entourage et qu'il ne lui en faut que quatre pour combler les quatre valences de l'atome de germanium, il y en a donc un de trop, qui peut se déplacer à travers le cristal. Comme les électrons assurant la conduction dans les métaux, les électrons supplémentaires fournis par l'arsenic acquièrent l'énergie nécessaire pour évoluer à travers le cristal. Il en résulte une transmission du courant ; le cristal de germanium est devenu conducteur. Ce type de conduction est appelé « de type N » parce qu'il est assuré grâce aux charges négatives des électrons ; le cristal est alors du « type N ». L'impureté qu'est l'arsenic et qui n'intervient que dans la proportion d'un pour un million est appelée « impureté donatrice ».

D'autre part, si l'impureté est une substance telle que le gallium, qui a trois électrons à partager, il manque un électron pour satisfaire les quatre liaisons. Cet électron manquant est emprunté à une autre liaison mais cela crée un « trou ». Ce « trou » peut être comparé à une bulle dans l'eau ; il se transporte à travers tout le cristal un peu comme se déplace un électron, à cette différence près, qu'il s'agit du déplacement d'une charge positive au lieu de celui d'une charge négative. C'est une conduction positive ou de « type P » ; la matière est elle aussi dite de « type P », l'impureté, appelée « impureté acceptrice ».

Nous disposons ainsi d'une technique capable de rendre conducteur le semi-conducteur de deux façons différentes en faisant usage soit de porteurs de charges positives, soit de porteurs de charges négatives. La procédure classique pour fabriquer un transistor à jonctions est la suivante : on fait croître un cristal de germanium en fondant du germanium très pur auquel on a ajouté une quantité infime bien déterminée d'arsenic. Cet alliage produit une matière de type N et un cristal de type N est retiré lentement de la coulée. A un certain moment, on laisse tomber une quantité déterminée de gallium dans le mélange, quantité suffisante pour compenser le rôle de l'arsenic et obtenir ainsi une quantité calculée d'impureté acceptrice. Au fur et à mesure que le cristal est retiré de la coulée, il croît, et de type N, la coulée devient de type P. Puisque le cristal croît dans le sens vertical, on obtiendra une jonction horizontale entre les deux types de cris-

taux. Des couches alternées de type N et de type P peuvent être produites comme on veut en ajoutant les impuretés nécessaires. La matière première pour la production des transistors à jonctions, c'est une tranche de cristal contenant une jonction N-P suivie d'une jonction P-N. Une gaufrette typique, laquelle fait 12 cm^2 et 4 mm d'épaisseur, sera coupée par des scies au diamant, en des centaines de minuscules barres de 4 mm de long, chacune comprenant une section P prise en sandwich entre deux sections N. Un fil est fixé à chaque section, la section P est appelée « base » et les sections N respectivement « collecteur » et « émetteur » (voir fig. 29).

Pour obtenir une description détaillée du fonctionnement des transistors à jonctions, le lecteur se réfèrera à un ouvrage spécialisé ; le seul point sur lequel je voudrais insister ici, c'est que ce fonctionnement dépend du mouvement de deux sortes de porteurs de charge électrique — les électrons et les trous — au travers des régions frontières entre les semi-conducteurs de type P et de type N. Dans la technologie de pratiquement tous les transistors et de tous les semi-conducteurs, la disposition de ces frontières est contrôlée avec précision ; précaution qui est de la plus haute importance.

L'invention du transistor et des dispositifs solides provoqua une accélération dans la croissance de l'électronique. Durant la décade 1950-1960, des sommes fantastiques furent investies par les grandes nations industrielles dans la recherche, la mise au point et la production de transistors et de semi-conducteurs. Aux Etats-Unis, en particulier, on estima que les transistors étaient essentiels pour réaliser le programme de défense nationale. Le gouvernement apporta un appui financier considérable aux firmes électroniques, ce qui permit aux Américains de prendre largement la tête en ce domaine. Pourquoi ces semi-conducteurs ont-ils une telle importance, et pourquoi ont-ils progressivement remplacé les composants équivalents de conception plus ancienne ? Un bref aperçu de leurs avantages vis-à-vis des tubes thermoioniques apportera la réponse à cette question.

Les transistors ne s'usent pas. Même les meilleurs tubes thermoioniques se détériorent lentement à cause des changements atomiques intervenant dans leurs cathodes, et à cause de fuites infiniment lentes mais réelles se produisant par leur enveloppe. Lorsque furent fabriqués les premiers transistors, durant les

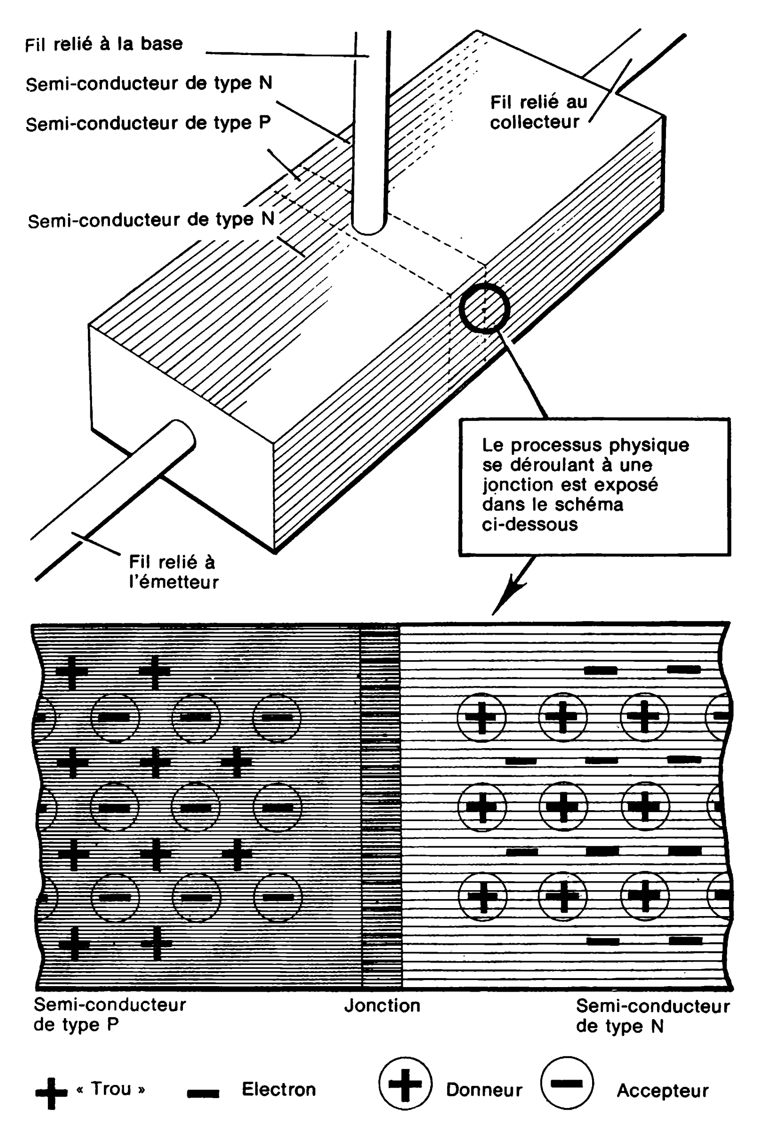


Figure 29. Structure d'un transistor à jonction N-P-N.

années 1950, les ingénieurs considérèrent leur rendement comme fantasque et douteux. Mais ces défauts étaient dus d'une part au manque d'expérience des techniciens et d'autre part, aux soins insuffisants consacrés à leur fabrication et à leur utilisation. Lors de la fabrication des transistors, les matières employées exigent des conditions de pureté inégalées et les procédés de fabrication, une extrême précision. Aucun autre produit n'a de telles exigences. Par exemple, il a fallu concevoir des méthodes entièrement nouvelles pour mesurer le taux d'impureté lors de la transformation du cristal, taux d'impureté qui doit être un rapport de un pour cent millions. Mais, une fois que le besoin fut compris, les progrès nécessaires pour produire des transistors au fonctionnement sûr furent bientôt accomplis. Les transistors ont maintenant une vie virtuellement illimitée.

Les transistors consomment très peu d'énergie. Ils ne demandent aucun chauffage pour émettre des électrons libres ; des batteries de faible capacité suffisent pour les faire fonctionner. En d'autres termes, l'équipement composé de transistors fournit un meilleur rendement, est plus léger, plus facile à transporter et dissipe beaucoup moins de chaleur qu'un équipement utilisant des lampes.

Puisque aucun chauffage n'est requis, il ne faut pas attendre que l'appareil à transistors chauffe avant de s'en servir comme c'est le cas pour les appareils à lampes. Ce perfectionnement représente un grand avantage dans le cas des appareils dits « d'agrément » comme les récepteurs de radio et de T.V., et, c'est essentiel dans le cas de beaucoup d'appareils de mesure ou d'enregistrement.

Les transistors, comme les autres éléments solides, fabriqués de manière très robuste, sont peu sensibles aux chocs et aux vibrations ; résultat difficile et coûteux à obtenir dans le cas des lampes ou des dispositifs mécaniques. Les petites dimensions des transistors et leur faible poids, leur dissipation de chaleur minime, leur sécurité de fonctionnement permettent de réaliser des circuits très compacts mais complexes et formés d'un grand nombre de composants indispensables pour la construction des ordinateurs, les instruments de mesure portatifs, l'équipement électronique des satellites... Grâce aux transistors, les monstrueuses machines de laboratoire exigeant un entretien constant effectué par un personnel spécialisé, se sont transformées en un appareillage commer-

cial à l'excellent rendement et au fonctionnement tout à fait sûr.

Les énormes ordinateurs si encombrants des années 1950 — tel que ENIAC qui ne comptait pas moins de 18 000 lampes — représentaient le maximum que l'on pouvait atteindre avec les tubes thermoioniques et les composants normaux ; les périodes où ils étaient en panne dépassaient largement celles pendant lesquelles ils fonctionnaient...

L'accroissement considérable de leur sécurité de fonctionnement, de leur rendement par rapport aux lampes, et leur présentation de plus en plus compacte furent les facteurs principaux qui rendirent possible la « seconde génération » d'ordinateurs, laquelle permit de mettre réellement sur pied l'industrie de l'informatique.

La plupart des inconvénients et des défauts des transistors qui pesèrent tant au cours de leurs dix premières années, ont actuellement disparu grâce à de nombreuses recherches, à un outillage perfectionné et à la mise au point des techniques de fabrication. Les progrès effectués en ce qui concerne la théorie des solides, ont avancé parallèlement au perfectionnement des méthodes de fabrication et de traitement des cristaux, à celles de la micromanipulation et de la production en grande série d'assemblages miniatures aux tolérances très réduites. En une dizaine d'années, est apparue une gamme extrêmement variée de transistors dont les qualités sont les suivantes : ils peuvent travailler à des fréquences plus élevées, ils ont une plus grande rapidité de fonctionnement, ils supportent des courants et des tensions plus élevés et fournissent des puissances plus grandes que celle des lampes. Ces avantages sont accompagnés d'une réduction de dimensions et d'une diminution de prix. L'augmentation de la puissance de sortie des transistors s'est faite, dans une certaine mesure, au détriment du règne des lampes, mais on peut encore discuter la question de savoir si, finalement, ils les remplaceront complètement. Il n'existe encore aucun dispositif solide capable de prendre la place des lampes à grande puissance des émetteurs ou qui soit comparable aux tubes à rayons cathodiques. Du reste, la plupart des transistors sont susceptibles d'être endommagés par des hautes températures ou par des radiations atomiques et cet inconvénient pose des problèmes lorsqu'il est question de les installer à bord d'engins spatiaux ou dans des stations nucléaires.

Les transistors sont devenus très populaires par un usage

largement répandu dans les récepteurs radio dont le nom est devenu aujourd'hui, justement, « le transistor ». Mais l'industrie de la radio ne forme qu'une branche d'une famille beaucoup plus grande, bien que moins connue, des semi-conducteurs. La demande, en augmentation constante, pour des transistors moins chers et de meilleure qualité, a fait accomplir de rapides progrès à la théorie des semi-conducteurs, tout comme elle amena une amélioration notable des techniques de production. Les autres branches de la famille des semi-conducteurs sont, en premier lieu, les varistances, lesquelles comprennent les petites diodes que l'on trouve partout et qui ont presque complètement pris la place des diodes thermoioniques. On les fabrique maintenant par millions. Viennent ensuite les cellules photo-électriques solides qui recouvrent les photo-transistors et les photo-multiplicateurs ; puis nous avons les thermistances dont on fait un usage considérable pour la mesure et la régulation des températures et qui, à cause de leurs caractéristiques non linéaires, jouent un rôle dans certains circuits ; et enfin, il y a les éléments thermo-électriques employés pour convertir directement la chaleur en électricité, ou qui entrent dans la construction de réfrigérateurs ne faisant usage d'aucune pièce mobile. Les ferrites et les éléments ferro-électriques entrent dans la construction des mémoires magnétiques des ordinateurs et dans les appareils à micro-ondes.

Pour la période 1950-1960, on peut se faire une idée du volume de la production des semi-conducteurs et de la somme qu'elle représente lorsqu'on a devant les yeux les chiffres se rapportant à la production totale des Etats-Unis dans ce domaine. Pour 1950, le chiffre est de cinq millions de dollars (les semi-conducteurs étant alors principalement destinés aux équipements téléphoniques), chiffre qui grimpe jusqu'à 300 millions de dollars en 1960. Une expansion parallèle, bien que démarrant à un chiffre plus bas, a été observée en Grande-Bretagne, en France, en Allemagne de l'Ouest, en Italie et au Japon.

De la miniaturisation à la micro-électronique

A partir de 1939, les militaires réclamèrent à cor et à cri la réduction des dimensions et du poids de l'équipement électronique. Après la guerre, cette exigence fut maintenue, sans désemparer. On avait besoin de composants petits et légers pour les récepteurs portatifs et pour l'équipement installé à bord des avions ; ils étaient indispensables pour des appareillages tels que les ordinateurs numériques comprenant des milliers de composants, s'ils ne voulaient pas devenir impossibles à manœuvrer et non rentables.

Les transistors, tout comme les autres semi-conducteurs, marquaient un grand pas en avant vers la miniaturisation : non seulement parce qu'ils étaient plus petits que les lampes miniatures, mais aussi parce que, en outre, ils ne demandaient pas comme les lampes d'encombrants tranformateurs. Lorsqu'on commença à les introduire dans les appareils électroniques, ils incitèrent les constructeurs à réduire aussi les dimensions des autres composants « passifs », comme les résistances et les condensateurs. De nombreuses recherches permirent de miniaturiser ces composants sans en diminuer le rendement ou la sécurité de fonctionnement.

La technique des *circuits imprimés* marqua une autre étape de l'évolution vers un appareillage toujours plus petit, plus compact et présentant une plus grande sécurité de fonctionnement. Dans un circuit imprimé, les fils reliant entre eux les divers composants sont remplacés par des connexions imprimées sur une plaque isolante et auxquelles sont soudés les composants. De plus, certains types de composants sont imprimés en même temps sur la plaque isolante, à leur place définitive, entre les connexions. La méthode habituelle utilise une plaque isolante recouverte d'une fine couche de cuivre (ou d'un autre métal conducteur) ; les parties du métal représentant le câblage sont recouvertes d'un enduit protecteur, déposé par un procédé photographique. Cette plaque est plongée dans un bain d'acide qui enlève le métal non protégé par l'enduit, ne laissant intacts que les éléments du circuit. Par de telles méthodes, et grâce aux semi-conducteurs, on arrive à mettre deux composants par centimètre cube, alors qu'avec des lampes sub-miniatures et des composants

a

b

c

d

e

a. Stencil

b. Les « tranches » de circuits après traitement

c. Des fils sont soudés automatiquement au circuit intégré

d. Test au moyen d'une sonde à plusieurs prises

e. Micromanipulateur

Figure 30 A. Les différentes étapes de la fabrication d'un circuit intégré. (D'après une photo originale de la Compagnie Plessey.)

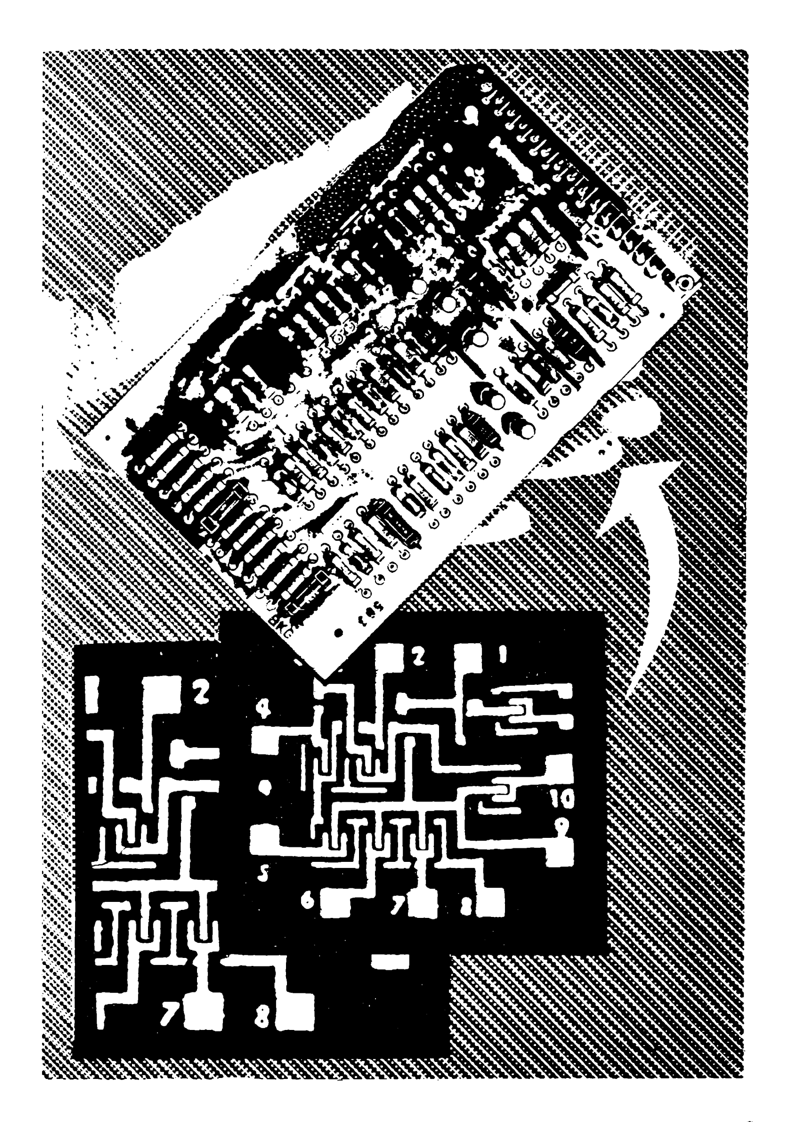


Figure 30 B. Les deux circuits intégrés posés sur le bout du doigt (et agrandis dans la partie inférieure du dessin) remplissent le même rôle que la plaquette supportant les circuits, tenue par la main.

classiques, la densité est trois fois moins forte (voir fig. 30 A et 30 B).

Passons à l'étape suivante : celle des « micro-modules ». Le module classique se compose d'une gaufrette de céramique de 2 centimètres carrés supportant des composants miniatures, et plusieurs de ces gaufrettes sont empilées les unes au-dessus des autres et reliées par des fils verticaux qui servent à la fois de connexions électriques et de support. On peut atteindre alors des densités de l'ordre de six composants au centimètre cube.

Etape suivante : on ne fabrique plus de composants isolés : ils sont introduits dans la masse sous forme de films sur du verre ou de la céramique, en même temps que les transistors et les connexions qui les relient. Pour la fabrication de ces « circuits intégrés », on a recours successivement à des techniques telles que la diffusion, la gravure, l'alliage et l'évaporation. On atteint ainsi des densités de l'ordre de soixante composants par centimètre cube et ceci avec une sécurité de fonctionnement encore jamais atteinte par les méthodes précédentes.

La dernière étape du progrès atteint actuellement dans le domaine de l'infiniment petit, est connue sous le nom de « électronique moléculaire ». L'idée de réaliser préalablement des éléments de circuit séparés est complètement abandonnée. Le circuit que l'on veut obtenir est littéralement construit molécule par molécule. Les techniques indispensables pour confectionner de telles structures comprennent : le dépôt sous vide de films extrêmement fins — de quelques atomes d'épaisseur seulement —, la micro-diffusion, la photogravure et le recours à des « pinceaux » d'électrons concentrés de telle manière qu'ils constituent des outils extrêmement précis, indispensables à la fabrication de ces circuits microscopiques. La densité de composants a encore augmenté d'un zéro puisqu'on atteint ainsi 600 composants par centimètre cube.

Au cours des vingt dernières années, la densité des composants électroniques a été multipliée environ par 600. Augmentera-t-elle encore dans de telles proportions pendant les deux décades à venir ?

Il est possible que cette éventualité se réalise avant vingt ans. A l'université de Manchester, les savants ont tenté de fabriquer des circuits comprenant une centaine de composants dans un volume d'un millimètre carré. En admettant que les composants

et les connexions n'aient pas plus de 25 millièmes de millimètre d'épaisseur, cela représente une densité de plusieurs centaines de milliers par centimètre cube ! Ce projet n'a pu être envisagé que grâce à deux techniques électroniques révolutionnaires actuellement disponibles. En effet, la précision exigée de 25 millioniémes de centimètre n'a pu être atteinte qu'en utilisant un faisceau d'électrons programmé par l'ordinateur Atlas dont l'université de Manchester possède un exemplaire.

Un projet encore plus ambitieux est en voie de réalisation au Stanford Research Institute en Californie. Son objectif consiste à parvenir à traiter des films au moyen de faisceaux électroniques de façon à y créer 1 800 millions de petites zones différentes par centimètre carré. Le Dr Kenneth Shoulders, qui dirige le projet, espère obtenir ainsi le prototype d'un système de traitement de l'information dont la densité de composants serait de l'ordre de 6 000 millions par centimètre cube ! Atteindre seulement le dizième de ce chiffre fantastique équivaudrait à égaler la densité des cellules nerveuses du cerveau humain ! De tels progrès conduiraient à des composants électroniques aussi éloignés des composants actuels que ceux-ci le sont des machines de l'ère pré-électronique. Nous discuterons des implications de toutes ces réalisations dans les chapitres suivants, mais il n'est pas difficile de voir dès à présent qu'elles rivalisent avec les merveilles qu'avait imaginées la science fiction.

DEUXIEME PARTIE

La révolution électronique

Chapitre 4

LA REVOLUTION DANS LES TELECOMMUNICATIONS

Nous œuvrons pour parvenir à un point où deux personnes pourront être complètement présentes l'une à l'autre à tout au plus 1/24 de seconde de distance. Nous n'atteindrons jamais cette limite, mais nous nous en approcherons sans cesse.
J.B.S. Haldane, dans la revue *Daedelus* (en 1923).

Peut-être le meilleur indice du degré d'avancement d'une civilisation est-il la qualité et la complexité de ses réseaux de communications, lesquels ont débuté avec les grognements et les cris des hommes primitifs pour parvenir aux satellites de télécommunications et aux câbles transocéaniques d'aujourd'hui. L'histoire des télécommunications montre l'évolution de la configuration complexe d'une civilisation en progrès. Au XXe siècle, cette configuration s'entremêle avec celle de la révolution de l'électronique. Dans le chapitre précédent, nous avons esquissé à grands traits comment, en cherchant à améliorer les techniques utilisées pour les télécommunications sans fil, fut découverte la diode thermoionique provoquant ainsi la naissance de l'électronique. Dans ce chapitre, nous allons voir que les effets révolutionnaires engendrés par les dispositifs électroniques ont largement dépassé les espoirs et les rêves de leurs inventeurs.

Le télégraphe électrique

La révolution de l'électronique dans le domaine des télécommunications fut précédée par la révolution du milieu du XIXe siècle,

révolution due à l'invention du télégraphe électromagnétique. Le fait que le courant électrique se déplace le long des fils conducteurs à des vitesses s'approchant de celle de la lumière, et le fait que ces fils passant près d'une boussole en font dévier l'aiguille, suggérèrent l'idée d'une méthode pour transmettre rapidement des signaux aux amateurs enthousiastes qui, au début du XIXe siècle, s'occupaient des phénomènes électriques. Les appareils inventés alors pour transmettre et détecter les signaux électriques furent aussi nombreux que remarquables. Sont parvenus jusqu'à nous : le premier électro-aimant, la sonnette électrique, l'enregistreur à stylet, le manipulateur morse et le télégraphe à clavier de machine à écrire.

Les motifs qui poussent des inventeurs tels que Morse aux États-Unis et Wheatstone en Grande-Bretagne à se mettre au travail sont, d'une part, les exigences du chemin de fer en plein développement et d'autre part, le fait que la transmission rapide d'informations pouvait avoir une influence sur le prix des marchandises et le cours des actions.

Morse inventa un simple relais qui répétait automatiquement les signaux transmis d'une section d'une ligne à une autre, rendant ainsi possible la réalisation en 1839, d'une ligne télégraphique d'une longueur de 65 km, ouverte au public. Le télégraphe électrique fonctionnait très bien sur des liaisons à courte distance, mais il n'était pas aisé d'obtenir de bons résultats à longue distance. Le premier câble télégraphique transatlantique donnant satisfaction et qui reliait la City de Londres et Wall Street à New York, fut posé en 1866, et requit toute l'expérience et toute l'ingéniosité du grand physicien Lord Kelvin ainsi que toutes les ressources de la Compagnie télégraphique anglo-américaine dont il fut le directeur. Ce câble, quand il fut terminé, représenta le dernier cri de la technique du moment. Kelvin, au cours des recherches qu'il entreprit pour réaliser ce câble, fut amené, chemin faisant, à mettre au point successivement le galvanomètre à miroir et le siphon enregistreur. Cependant, quoique des compagnies très puissantes comme l'Anglo-Américaine et la Western Union continuèrent à investir dans la construction de lignes télégraphiques, la recherche ne fut pas poursuivie plus avant et l'industrie du télégraphe se contenta de grandir grâce aux bénéfices d'un système télégraphique mondial mis au point vers 1900.

L'industrie du télégraphe commit la regrettable erreur de ne

pas apprécier à sa juste valeur le travail accompli par Bell dans le domaine du téléphone et, plus tard celui de Marconi en matière de radio. Ces deux inventeurs eurent à trouver de nouveaux commanditaires et durent fonder de nouvelles compagnies, mais même s'ils avaient été étouffés par la pression des intérêts établis dans le domaine du télégraphe, il ne fait pas de doute que les avantages aveuglants du « télégraphe parlant » et des communications sans fil n'auraient pu demeurer cachés fort longtemps au public.

Le téléphone

Si le public du XIXe siècle fut impressionné par la transmission des signaux électriques au moyen de fils télégraphiques, on peut imaginer ses réactions lorsqu'il entendit pour la première fois une voix humaine transmise de la même manière ! Le succès du téléphone fut immédiatement assuré. Ce succès marqua le couronnement de plus de quarante années d'efforts et il y eut de nombreuses tentatives qui ne furent pas loin d'aboutir avant qu'Alexander Graham Bell fabriqua, en 1876, un engin qui convoyait le son grâce à l'électricité (voir fig. 31). Bell comprit que la solution consistait à convertir les variations de densité de l'air provoquées par la voix en des variations parallèles du courant électrique. Son « microphone » se compose d'un tube dans lequel on parle, tube conduisant à un disque plat monté à proximité d'une bobine de fils et qui est connectée à une batterie. Quand les ondes sonores frappent le disque, il se met à vibrer et engendre des variations électriques correspondantes dans la bobine ; ces variations sont transmises tout au long du fil à un récepteur où le processus inverse est produit. Que diraient ceux de nos contemporains qui se plaignent du manque d'intelligibilité des conversations transmises par nos téléphones modernes, s'ils devaient utiliser le premier appareil fabriqué par Bell ? Néanmoins, ce dernier fut jugé assez satisfaisant pour justifier la fondation de l'industrie du téléphone. Lorsque Bell et ses commanditaires échouèrent dans leur tentative de vendre leurs brevets à la Western Union, ils fondèrent, en 1877, leur propre

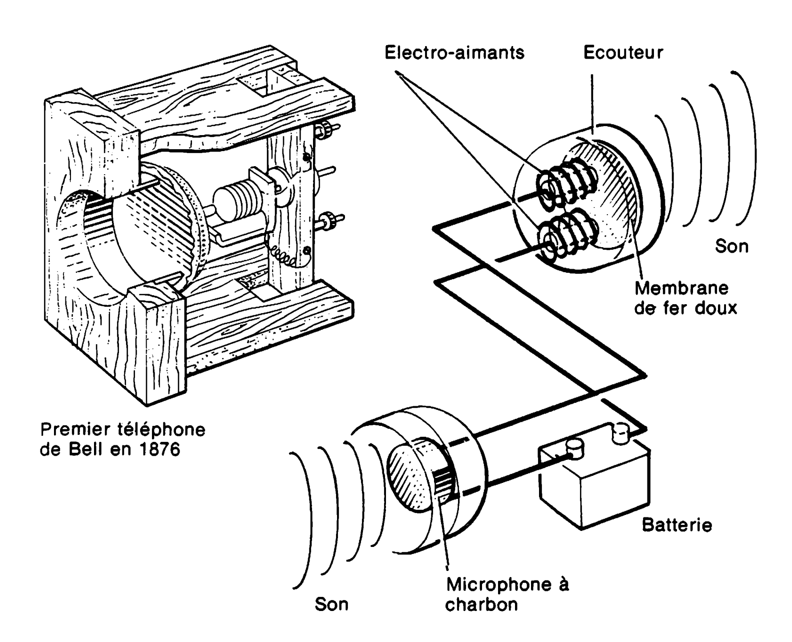


Figure 31. Principe du téléphone.

compagnie, laquelle distribua des licences à des groupes indépendants, les autorisant à construire des lignes téléphoniques. En outre la compagnie de Bell leur louait l'appareillage téléphonique. Bell ne commit pas la même erreur que l'industrie télégraphique en négligeant la recherche. En 1876, il ouvrit à Boston, un laboratoire qui est à l'origine des laboratoires de la Bell Telephone, aujourd'hui une des meilleures organisations de recherche industrielle du monde entier et qui a joué et joue encore un rôle de premier plan dans le développement des télécommunications et de l'électronique. Le réseau téléphonique se développa rapidement aux Etats-Unis et en Europe mais moins vite en Grande-Bretagne, jusqu'à ce que le gouvernement enlève, en 1912, la régie du téléphone au monopole privé qui la détenait, pour le confier aux Postes britanniques : le Post Office. Mais on dut attendre l'invention de l'amplificateur à lampes et de

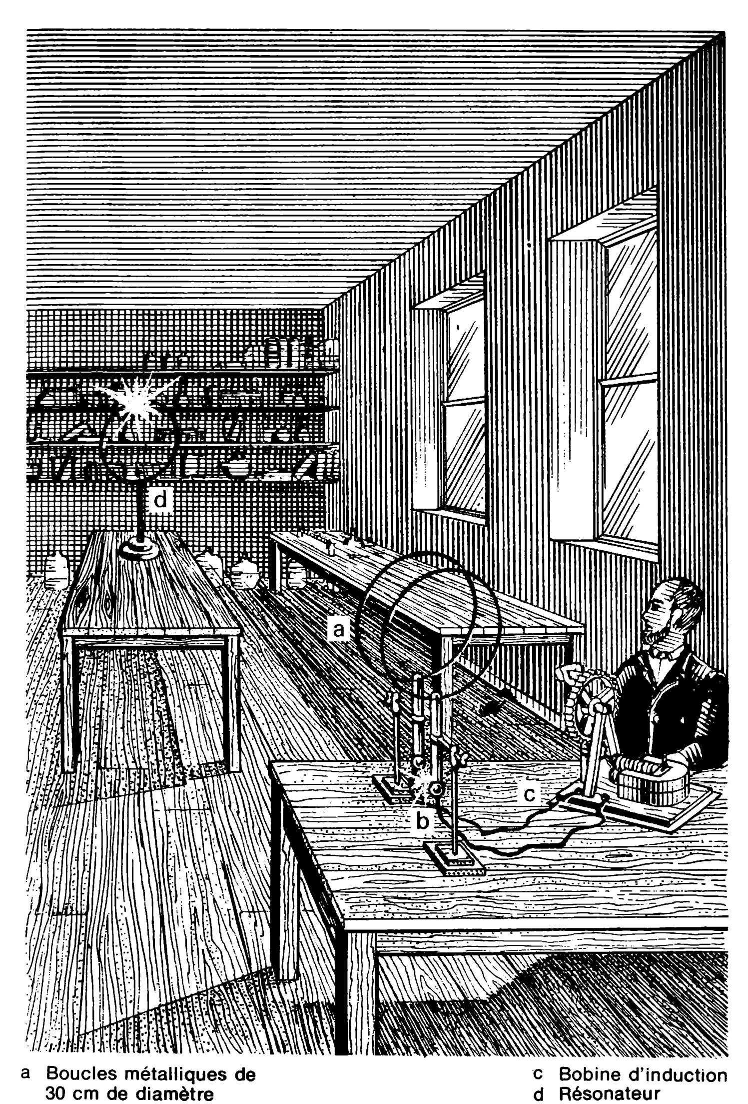
la radio pour que le téléphone se développe à l'échelle mondiale de manière réellement explosive.

Communications sans fil

Lorsqu'en 1888, le grand physicien allemand Heinrich Hertz démontra le premier l'existence d'ondes se transmettant « sans fil », il ne s'intéressa nullement aux applications pratiques que pouvait susciter sa découverte (voir fig. 32). Il était uniquement satisfait d'avoir fourni la preuve expérimentale de l'exactitude de la théorie purement mathématique établie avec une troublante perspicacité vingt-cinq ans auparavant par Clerk Maxwell. Cette théorie affirmait l'existence d'ondes électromagnétiques qui obéiraient aux mêmes lois que les ondes lumineuses et qui voyageraient à la même vitesse tout en ayant des longueurs d'onde différentes. Hertz, à l'aide d'une bobine à induction, produisit une étincelle entre deux tiges terminées par une petite boule. A courte distance, il disposa une deuxième paire de tiges *non reliées aux premières*, et une étincelle apparut néanmoins entre celles-ci chaque fois que l'on produisait une étincelle au moyen de la première paire de tiges. Hertz montra que les ondes qui produisaient cet effet avaient une longueur d'onde d'une trentaine de centimètres et qu'elles pouvaient être transmises à travers tout son laboratoire.

La mort prématurée de Hertz à trente-sept ans, représenta une grande perte pour la physique. Il ne vécut pas assez longtemps pour constater les résultats de ses travaux. Ce n'est qu'en 1895, qu'Oliver Lodge en Grande-Bretagne, Popov, en Russie et Marconi en Italie, se servirent des ondes électromagnétiques pour envoyer des signaux. Ils utilisaient pour cela un cohéreur (voir chapitre 3) inventé en 1890 par le professeur Edouard Branly, en France, et qui jouait le rôle de détecteur d'ondes.

C'est Guglielmo Marconi, fils d'une riche famille italienne, qui entrevoit le premier, les possibilités pratiques des ondes transmises sans fil. Il lit dans un journal technique italien consacré à l'électricité, un article sur les expériences de Hertz et il a l'idée d'établir des communications sans fil. Quoiqu'il ne soit pas un



a Boucles métalliques de 30 cm de diamètre
b Boules de métal
c Bobine d'induction
d Résonateur

Figure 32. Hertz démontre l'existence d'ondes transmises « sans fil ».

savant expérimenté, il transforme l'étage supérieur de la villa de ses parents en un laboratoire où il passe une grande partie de son temps à construire un appareil de transmission et à perfectionner le cohéreur. Sa famille connaît des gens très bien placés en Angleterre. Et il est décidé que le jeune Guglielmo aura là de meilleures perspectives d'avenir. En 1896, il débarque en Grande-Bretagne avec une série de lettres d'introduction pour chaque personnalité jouant un rôle important dans le domaine des télécommunications, y compris Sir William Preece, l'ingénieur en chef des Postes britanniques. Preece organise une démonstration devant les ingénieurs des Postes qui sont très impressionnés lorsque Marconi leur montre que des messages peuvent être envoyés à plus de 12 km. La British Marconi Company est constituée l'année suivante, alors que Marconi n'a que trente-trois ans, avec un capital de 300 000 livres souscrit par de riches commanditaires qui espèrent que le sensationnel succès commercial du téléphone va se répéter avec le « sans fil ». Marconi, qui est meilleur « vendeur » de l'idée du « sans fil » qu'inventeur, promet aux actionnaires que la majeure partie du trafic assuré par le câble transatlantique va bientôt leur revenir. Il fait remarquer que l'installation d'un câble transatlantique coûte plus d'un million de livres et son entretien, plus de 100 000 livres annuellement, tandis que le coût d'une station de télégraphie sans fil, capable de transiter le même trafic, ne serait que de 50 000 livres et son entretien ne coûterait que 12 000 livres chaque année.

Malheureusement, Marconi n'a pas tenu compte des difficultés inhérentes aux transmissions radio à longue distance (quoiqu'il remporte de brillants succès sur des distances relativement courtes) et la Compagnie anglaise Marconi ne verse aucun dividende à ses actionnaires de 1897 à 1910.

Cependant, comme nous le verrons, la perte causée aux actionnaires se révélera être un bénéfice pour les savants. Le premier message radio payant est transmis en 1898 entre des stations situées respectivement à Bournemouth, dans le Hampshire, et Alum Bay, dans l'île de Wight. La même année la télégraphie sans fil reçoit la bénédiction royale lorsque la reine Victoria a recours à ses services pour échanger non moins de 150 messages avec le prince de Galles entre l'île de Wight et le yacht royal *Osborne*. En 1899, des messages sont envoyés par-dessus la Manche de Chelmsford à Boulogne, sur une distance de 135 km.

Le premier message radiotélégraphique transatlantique est transmis en 1901 : la lettre « s » est émise en morse depuis Poldhu, dans les Cornouailles et le « point-point-point » est perçu faiblement par Marconi et ses deux assistants à 2 600 km de là, à Saint-Jean, la capitale de l'île de Terre-Neuve, où une antenne a été suspendue à un cerf-volant de manière à atteindre une hauteur maximum. C'est un grand succès pour Marconi surtout parce qu'il avait refusé de se laisser décourager par l'avis de nombreux savants de l'époque qui prétendaient qu'un essai de transmission à longue distance devait forcément se solder par un échec. Ces savants soutenaient qu'il avait été amplement démontré que les ondes radio étaient des ondes électromagnétiques obéissant aux mêmes lois que les ondes lumineuses et qu'en conséquence, elles voyageaient en ligne droite et étaient donc arrêtées par la courbure de la terre. Pour qu'une antenne réceptrice soit à vue d'une antenne émettrice située à 3 000 km de là, elle aurait dû avoir plus de 800 km de haut, en admettant même que les ondes soient quelque peu incurvées par l'atmosphère terrestre (voir fig.33).

Les succès de Marconi amènent les savants à repenser le problème et, en 1902, le brillant théoricien anglais Oliver Heaviside et le physicien américain A.E. Kennelly avancent indépendamment l'un de l'autre la théorie selon laquelle il existerait une couche réfléchissante entourant la terre et que les ondes employées par Marconi rebondissaient tout autour de la terre, entre cette couche et la mer.

Trente-trois ans plus tard, Sir Edward Appleton fournit non seulement la preuve de l'existence de la couche Kennelly-Heaviside mais aussi celle de nombreuses autres couches situées au-dessus et en dessous de celle-ci. Ces couches forment l'ionosphère, une région qui s'étend de 90 km à 300 km au-dessus de la surface terrestre et qui est composée d'ions chargés positivement et d'électrons à l'état libre. Les communications radio à longue distance dépendent totalement de l'ionosphère. Celle-ci se laisse traverser sans difficulté par les ondes lumineuses, mais elle devient de plus en plus opaque au fur et à mesure que la longueur d'onde du rayonnement incident s'accroît. Les ondes radio de très courtes longueurs d'onde sont à peine réfléchies, et celles de grandes longueurs d'onde le sont complètement. La nature et la distribution des différentes couches varient de

manière très complexe selon la position du soleil et sa distance par rapport à la terre et également en fonction des tempêtes solaires. Ces variations rendent très difficiles les prévisions exactes sur la qualité des transmissions radio à un moment donné. De cette façon, Marconi est en somme le premier à découvrir le seul grand avantage des câbles sous-marins par rapport aux liaisons radio à longue distance : la qualité de leur retransmission peut être prédite sans hésitation comme étant excellente.

En dépit de son succès initial, Marconi est incapable de gagner la bataille des communications transatlantiques engagée contre les compagnies déjà bien établies qui exploitent les câbles. Bientôt, il s'aperçoit que les communications avec les navires lui ouvrent de meilleures perspectives sur le plan commercial. En peu de temps, la Compagnie Marconi occupe une position commerciale forte en matière de communications entre les navires et la côte. Elle reçoit des contrats de la Marine britannique pour équiper trente-deux navires avec des appareils Marconi et pour ériger de nombreuses stations radio tout autour de la côte anglaise. L'exemple britannique est bientôt suivi par les marines marchandes tout comme par les marines de guerre d'autres pays. Et la Compagnie Marconi qui prétend que les appareils Marconi ne doivent pas être utilisés pour communiquer avec des systèmes concurrents, est sur le chemin de la détention d'un monopole mondial. Cependant, cette politique agressive est vigoureusement attaquée par les firmes allemandes et américaines ainsi que par leurs gouvernements, de sorte que l'on aboutit, en 1908, à un accord aux termes duquel les stations côtières internationales sont ouvertes à tout expéditeur de messages, quel qu'il soit.

Le naufrage du *Titanic* en 1912, fait éclater aux yeux de tous de manière dramatique l'importance de la radio pour la sécurité en mer ; quoique les 700 survivants doivent la vie à la réponse que le *Carpathia* donne au S.O.S. lancé par le *Titanic*, un autre navire qui est beaucoup plus près de ce dernier à ce moment-là, continue son chemin en ignorant le drame, faute d'être doté d'un équipement radio. Après cette catastrophe, des lois édictées par la Grande-Bretagne, les Etats-Unis et d'autres nations maritimes obligèrent tous les bateaux dépassant certaines dimensions à être équipés de la radio, et depuis lors, les différentes Compagnies Marconi dans le monde sont florissantes. C'est une des ironies de

l'histoire que les premières difficultés rencontrées par Marconi au sujet des transmissions radio à longue distance amenèrent les chercheurs à s'intéresser à l'ionosphère et que les méthodes mises en œuvre pour poursuivre ces recherches conduisirent à la découverte du radar, lequel rend aujourd'hui très

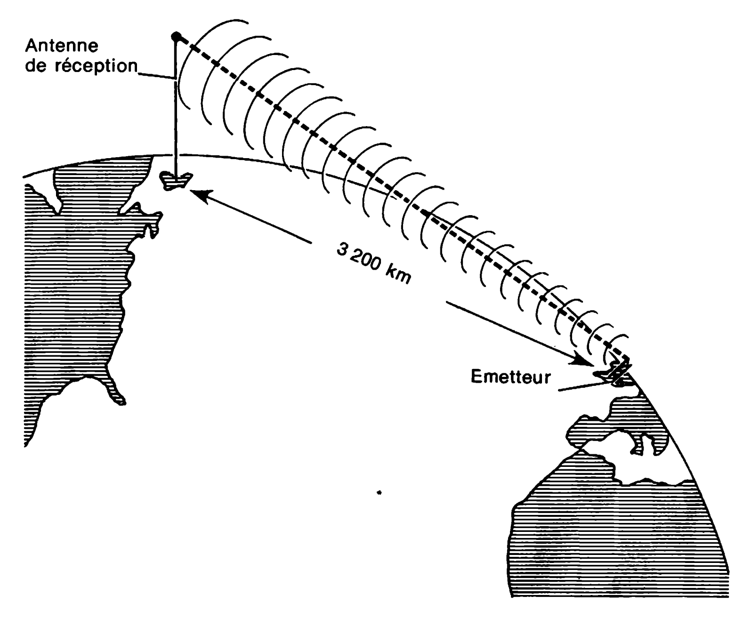


Figure 33. Les communications et la courbure de la terre : pour que la réception d'un émetteur situé à 3 200 km soit possible, l'antenne de réception devrait avoir plusieurs centaines de kilomètres de hauteur.

peu probable la réédition d'une catastrophe du genre de celle du *Titanic*.

Marconi commença à travailler dans le domaine de la télégraphie sans fil avec des émetteurs à étincelles (voir chapitre 3) et, dans les limites de cette méthode de transmission rudimentaire et au rendement plutôt médiocre, ses chercheurs améliorèrent les

systèmes d'accord, réduisant les interférences et les effets de l'électricité statique qui étaient très nuisibles dans les premiers systèmes. De plus, ils parvinrent à transmettre à longue distance, spécialement par le recours à l'émission à ondes dirigées. Mais Marconi eut le grand tort de ne pas comprendre la supériorité des émetteurs à ondes entretenues sur les émetteurs à étincelles et celle de la radiotéléphonie sur la radiotélégraphie. Ce furent les Allemands qui, les premiers, en 1914, émirent au-dessus de l'Atlantique Nord au moyen d'ondes entretenues. Les premiers signaux de téléphonie sans fil furent envoyés par l'Américan Telephone and Telegraph en 1915 (voir chapitre 3). Mais le plus sérieux reproche que l'on puisse adresser à Marconi est de n'avoir pas saisi les possibilités révolutionnaires de la diode de Fleming dont il détenait les brevets depuis son invention en 1904, de sorte que l'adaptation de l'électronique au service de la radio fut laissée aux Américains, leur donnant ainsi suffisamment d'avance pour qu'ils prennent la tête du progrès en ce domaine et la gardent longtemps.

Quand le groupe Marconi commença enfin à avoir recours aux divers dispositifs électroniques, il obtint rapidement des résultats remarquables. Durant la guerre 14-18, tous les principaux belligérants entreprirent des recherches secrètes sur les nouvelles méthodes de télécommunications. Le groupe Marconi se préoccupa du problème consistant à envoyer des messages sur des longueurs d'onde qui ne pouvaient pas être facilement interceptés par l'ennemi, et C.S. Franklin fut chargé par Marconi de vérifier si les ondes courtes primitivement découvertes par Hertz pouvaient jouer ce rôle. Franklin refit les mêmes expériences que Hertz en 1916 en se servant cette fois des tubes thermoionniques et de l'émission à ondes dirigées, et il se rendit compte qu'il pouvait transmettre et recevoir avec succès des messages en utilisant ces ondes courtes. Hertz avait déjà démontré que ces ondes pouvaient être concentrées et dirigées au moyen de miroirs concaves, de la même manière que les ondes lumineuses, et Franklin mit au point ces techniques. Les problèmes qu'elles soulevaient étaient en fait moins importants que dans le cas des grandes longueurs d'onde puisque les dimensions des miroirs sont du même ordre que la longueur d'onde et que, par conséquent, les ondes courtes requièrent des miroirs de petites dimensions.

Après la guerre, des expériences sur les ondes courtes furent

poursuivies en Grande-Bretagne et en Amérique, aussi bien par des professionnels comme Franklin et l'Américain Conrad, que par des amateurs. Ils découvrirent ce fait très surprenant : les

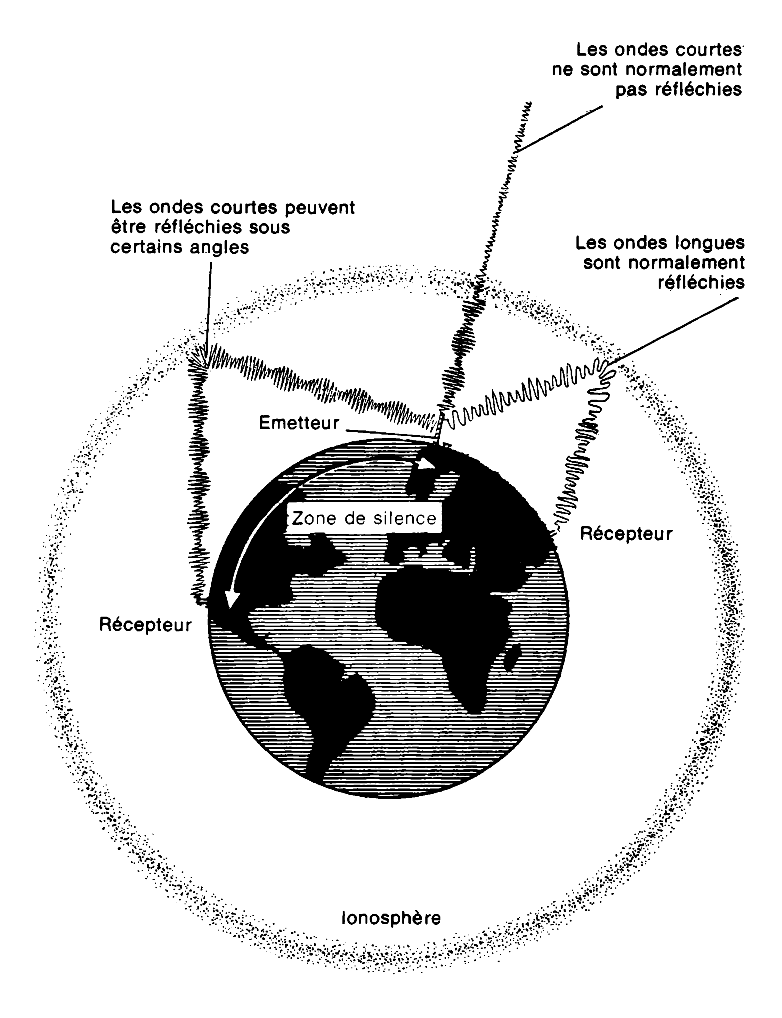


Figure 34. Effets de l'ionosphère sur les ondes longues et les ondes courtes.

communications au moyen d'ondes courtes sont possibles à très longues distances. Il apparaît que si les ondes courtes sont dirigées vers l'ionosphère suivant certains angles critiques, elles sont réfléchies par elle vers la terre au lieu de poursuivre leur chemin et l'on peut ainsi faire « sauter » les ondes tout autour du globe (voir fig. 34). En 1924, le Post Office britannique signa un contrat avec la Compagnie Marconi concernant l'érection de stations à ondes courtes en Australie, au Canada, en Inde et en Afrique du Sud. Le succès obtenu par ces stations stimula les autres compagnies de radio qui s'intéressèrent aux ondes courtes. Aujourd'hui, un vaste réseau mondial de stations à ondes courtes dirigées relie entre eux pays et continents. Ce réseau et celui de câbles sous-marins constituaient la seule alternative possible jusqu'à ce que le satellite Telstar fut mis sur orbite.

L'électronique et les communications par câble

Entre les deux guerres, le développement rapide de l'industrie radio-électrique et de la radiodiffusion fournit les moyens techniques pour améliorer et étendre les communications par des câbles télégraphiques et téléphoniques.

Lorsqu'il ne s'agit que de convoyer de faibles courants téléphoniques sur quelques kilomètres, des fils de petit diamètre suffisent. Jusqu'à 40 km, on peut y arriver en employant des fils plus gros. Mais pour des lignes encore plus longues, les pertes sur tout câble téléphonique d'un diamètre raisonnable deviennent prohibitives. Grâce à des amplificateurs électroniques, semblables à ceux mis au point pour la radio, disposés à intervalles réguliers tout au long de la ligne et aux deux extrémités de celle-ci, les signaux téléphoniques sont renforcés de telle manière que l'on peut utiliser un câble téléphonique économique pour transmettre des conversations sur des centaines de kilomètres. L'amplificateur à lampes constitue un maillon essentiel des immenses réseaux de câbles qui s'étendent à travers les vastes territoires des Etats-Unis, de l'Europe et de l'Union Soviétique. C'est grâce à eux qu'il est possible de se téléphoner d'un bout à l'autre d'un continent.

Les câbles et les amplificateurs employés dans les longues lignes interurbaines sont coûteux et, avec le trafic toujours croissant, les ingénieurs du téléphone envisagèrent de recourir à des méthodes qui permettraient d'envoyer plusieurs conversations le long d'une même paire de fils. La solution fut apportée par la téléphonie harmonique ou téléphonie à courants porteurs, une autre technique empruntée à la radio. Le principe de ce système consiste à produire une bande de fréquences assez large, à une extrémité de la ligne, en ayant recours à des oscillateurs à lampes et à diviser la bande en un certain nombre de canaux, chacun n'occupant qu'une bande passante de 4 000 cycles du spectre ainsi produit (une bande passante qui permet de reproduire la parole de façon satisfaisante). Chaque canal peut être considéré comme un support sur lequel s'imprime une conversation qui est alors envoyée le long de la ligne. A la réception, les ondes des différents canaux sont séparées, amplifiées et démodulées. En d'autres termes, les conversations téléphoniques en sont extraites. Des milliers de kilomètres de lignes installés entre les grands centres emploient maintenant des systèmes à courants porteurs qui permettent d'envoyer 24 conversations différentes sur chaque paire de fils, de sorte qu'un câble à 12 paires de fils peut transiter 288 conversations à la fois. Pour franchir les mers et les océans, on exploite à la fois entre les stations téléphoniques terminales, des liaisons radio et des câbles sous-marins. Les câbles sous-marins ont des limitations similaires à celles des câbles téléphoniques terrestres. Avant que les amplificateurs à lampes ne soient au point, le nombre de canaux qu'ils pouvaient transmettre était très limité et les signaux, habituellement de simples sons à basse fréquence, subissaient une forte atténuation. Les répéteurs à lampes qui sont maintenant construits à l'intérieur même du câble et donc immergés avec lui, ont complètement changé la situation. Le premier câble téléphonique transatlantique fut posé en 1956, fournit 36 circuits et coûta 45 dollars par kilomètre. La fabrication des câbles est un des rares domaines des télécommunications où les Anglais ont gardé leur avance sur les Américains : les recherches menées par les Postes britanniques (G.P.O.) et des firmes anglaises se sont traduites par des améliorations considérables dans les liaisons par câble. Le Dr Brockbank du G.P.O. a inventé un câble extra-léger aux performances remarquables ; il remplace le pesant câble armé qui n'est plus

employé actuellement que pour les hauts-fonds. Le G.P.O. a également mis au point des répéteurs susceptibles de fonctionner à des très grandes profondeurs et qui utilisent des transistors et des composants miniatures, répéteurs qui peuvent supporter des pressions de plus de 750 kg par centimètre carré et doivent fonctionner de manière satisfaisante et sans aucun entretien durant vingt ans au moins. Ces nouvelles techniques furent mises en œuvre dans la construction du câble reliant Oban, sur la côte ouest de l'Ecosse, à Terre-Neuve, premier maillon de la chaîne reliant la Grande-Bretagne à l'Australie et qui fut posé en 1961. Il offre 80 circuits au prix d'environ 90 dollars par circuit et par kilomètre. Un câble plus récent TAT-3 posé par les Américains en 1963 à travers l'Atlantique Nord, comporte 128 circuits au prix unitaire de 40 dollars par kilomètre.

En 1968 les autorisations ont été accordées pour la pose de TAT-5, câble d'une capacité de 720 circuits alors que l'ensemble de tous les câbles posés à travers l'Atlantique ne comptent environ que 470 circuits. Pour ne pas être dépassé, le G.P.O. a établi un projet concernant un câble d'une capacité de 1 000 circuits qui ramèneraient le coût par circuit et par kilomètre à 10 dollars. Ce câble aurait une capacité suffisante pour transmettre en direct des programmes de télévision sans perte appréciable de qualité. D'autres techniques électroniques ingénieuses pour la transmission et la réception des signaux téléphoniques ont permis d'améliorer considérablement le rendement et d'abaisser le coût d'utilisation du câble. Une des plus récentes est le système américain baptisé T.A.S.I. (Time Assignment Speech Interpolation) qui intercale une conversation dans les espacements laissés libres par une autre, de telle sorte que la capacité du câble est doublée. Les systèmes actuels de câbles téléphoniques sous-marins ont atteint un stade de développement où leurs prix sont devenus compétitifs avec ceux des satellites de communications réalisés jusqu'ici. Le nombre de communications intercontinentales s'est accru énormément depuis 1956, année où le premier câble téléphonique transatlantique fut posé. Avant cette date, le nombre d'appels vers l'Amérique en provenance de Grande-Bretagne s'élevait à 3 000 par semaine ; peu après l'inauguration du câble, ce nombre passait à 6 000 par semaine ; en 1965, il atteignait 20 000. Les lignes louées en permanence aux usagers gouvernementaux et militaires comprennent celle du « téléphone rouge »

reliant la Maison Blanche au Kremlin, et qui joua un rôle si important lors de la crise de Cuba en 1962. Le volume du trafic télégraphique et du trafic télex (un système qui permet de transmettre à distance au moyen des lignes téléphoniques ordinaires, les textes écrits au moyen d'un téléscripteur), qui transitent par les câbles transatlantiques et transpacifiques est en expansion régulière. Un autre type de trafic très particulier, et qui constitue maintenant un client important pour les nouveaux câbles, est la transmission des données depuis les ordinateurs jusqu'aux sièges des entreprises qui ont recours à leurs services (télétraitement de l'information) et inversement. Et bientôt, ces câbles vont former un réseau reliant entre eux les ordinateurs des différents continents, ce qui va affecter profondément l'avenir des relations internationales.

Ces communications internationales ne feront, certes, que se multiplier non seulement par câbles sous-marins, mais également, comme nous le verrons un peu plus loin, grâce aux satellites artificiels. Au 1[er] janvier 1969, le nombre de circuits téléphoniques se répartissait comme suit, pour les deux principales artères internationales :

ARTÈRE TRANSATLANTIQUE

Câbles sous-marins		*Satellites artificiels*	
Scotice + Icecan	24	Intelsat I (Early Bird)	240
Cantat	80	Intelsat II	240
TAT-1	50	Intelsat III	1 200
TAT-2	50		
TAT-3	128		
TAT-4	128		
Total	460	Total	1 680
En projet :		*En projet :*	
TAT-5	720	Intelsat IV	5 000

ARTÈRE TRANSPACIFIQUE

Transpac	142	Intelsat I (F-2)	240
Compac	80	Intelsat II (F-4)	240
En projet :		*En projet :*	
Néant		Intelsat III	1 200

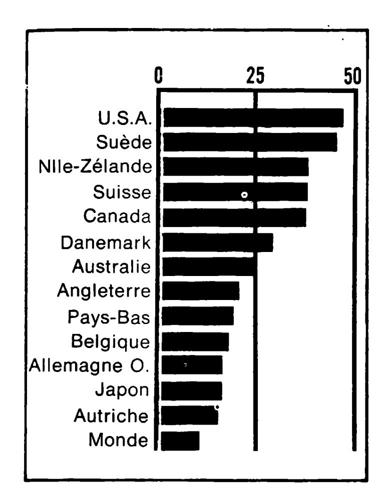
Les deux graphiques, page 125, nous donnent un aperçu de la répartition des récepteurs téléphoniques dans le monde en janvier 1967, d'une part, et, d'autre part, de la croissance du nombre des appels téléphoniques transatlantiques de 1956 à 1967.

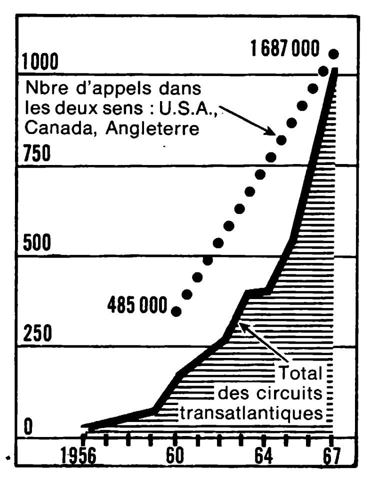
Aujourd'hui, il y a plus de 200 millions de récepteurs téléphoniques dans le monde et ce nombre augmente au rythme de 10 millions par année. Les habitudes et la vie quotidienne de centaines de millions de gens ont été modifiées par l'existence de ce gigantesque réseau téléphonique dont nous disposons, un réseau qui fonctionne grâce aux appareils et aux techniques électroniques.

A la réunion de l'Union Internationale des Télécommunications (U.I.T.) qui s'est tenue à Rome en 1963, on s'est mis d'accord pour mettre sur pied un système téléphonique qui permettra à chacun d'atteindre directement et automatiquement n'importe quel abonné, dans le monde entier, simplement en formant un numéro sur son cadran téléphonique. On est tombé d'accord sur des codes qui doivent servir au cours des quarante prochaines années dans le cadre d'un système téléphonique mondial dont on prévoit qu'il comptera 600 millions d'abonnés. Ces plans ne relèvent nullement de la fantaisie : l'U.I.T. est une de ces rares organisations vraiment internationales qui ont survécu aux guerres froides comme aux guerres chaudes de notre époque et qui fonctionnent efficacement. La première étape vers ce système a été franchie en 1964 lorsqu'une grande partie de l'Europe put être atteinte directement en composant un numéro sur le cadran téléphonique. Aujourd'hui, les abonnés de la plupart des villes importantes d'Europe Occidentale peuvent s'atteindre directement, sans passer par une standardiste. En outre, à Londres, on peut appeler directement les Etats-Unis et, également l'Australie, sans intermé-

diaire, depuis l'inauguration du câble transpacifique COMPAC.

La croissance tant en grandeur qu'en complexité des systèmes téléphoniques et la gamme de services qu'ils offrent maintenant demandent que toutes les opérations de commutation soient menées avec rapidité et avec une sécurité de fonctionnement maximum. La commutation effectuée par des moyens électroniques est 1 000 fois plus rapide que celle obtenue par des moyens





Les graphiques ci-dessus indiquent : à gauche, la répartition dans le monde du nombre de récepteurs téléphoniques par 100 h en janvier 1967 ; à droite, l'accroissement du trafic téléphonique transatlantique de 1956 à 1967. (Source : American and Telegraph Co.)

électromécaniques et les premiers commencent à remplacer les seconds dans les centraux automatiques actuels. En Grande-Bretagne, par exemple, le G.P.O. a dressé des plans qui prévoient le remplacement sous peu des équipements actuels par des dispositifs électroniques. En Amérique, cette opération a déjà démarré quoiqu'il soit prévu que le remplacement de toutes les installations téléphoniques des Etats-Unis s'étalera sur trente-cinq ans.

La forme que revêtira le service téléphonique de l'avenir peut

être prévue à partir des possibilités offertes aux 200 abonnés du premier bureau central permanent totalement électronique du monde, qui se trouve à Succasunna, à 100 km au sud-ouest de New York. Mis en service en 1965, il laisse entrevoir ce que sera le service téléphonique de l'avenir. Dans cette ville, les ménagères peuvent commander leurs provisions simplement en formant sur le cadran le numéro de l'ordinateur du supermarché. Si elles préfèrent tâter et sentir la nourriture avant de l'acheter, elles se rendent dans les magasins. Mais de là, elles peuvent mettre en marche le four de leur cuisinière, simplement en formant leur propre numéro de téléphone plus un numéro déterminé. Les employés de bureau qui ont appelé un correspondant dont le numéro sonnait « occupé », sont avertis dès que la ligne est redevenue libre par la sonnerie de leur propre appareil. Les abonnés qui s'éloignent de leur domicile pour quelque temps, peuvent former un numéro convenu, plus le numéro de téléphone de l'endroit où ils se rendent de sorte que tout appel sera transmis là-bas jusqu'à ce qu'ils envoient de nouvelles instructions par le même canal : c'est ce qu'on appelle le « transfert au cadran ». Les ingénieurs des laboratoires Bell à New York, où ce nouveau système a été mis au point, le disent si souple qu'il pourra rendre quantité d'autres services dans un proche avenir.

En Europe, des recherches similaires ont été entreprises, entre autres par le C.N.E.T. français (Centre National d'Etudes des Télécommunications). En 1957, a été créé au CNET un département de Recherches sur les machines électroniques dans le but d'étudier les possibilités offertes à la commutation téléphonique par les techniques récentes de traitement électronique des informations.

Le CNET a installé ses laboratoires à Lannion, en Bretagne, dans une optique de décentralisation. Le réseau téléphonique de Lannion a été choisi pour y expérimenter deux nouveaux équipements, et ainsi, cette petite ville bretonne est devenue une ville d'avant-garde en matière de téléphonie et d'électronique. Grâce à SOCRATE (Système Original de Commutation Rapide et de Taxation Electronique) et à ARISTOTE (Appareillage Réalisant Intégralement et Systématiquement Toutes Opérations de Téléphonie Electronique), Lannion est à la pointe du progrès. On a constaté que plus de la moitié des appels faits par un abonné ne concernait que 5 à 6 numéros différents. Ces postes appelés fréquemment se sont

vu conférer un numéro très simple de 3 chiffres seulement. En outre, les abonnés de Lannion jouissent du « transfert au cadran ». Ils peuvent également disposer d'un combiné dont le cadran est remplacé par des boutons poussoirs, (numérotation au clavier). Ajoutons aussi, que grâce à CELTIC (Concentrateur Electronique utilisant Les Temps d'Inoccupation des Circuits), le CNET parvient à transmettre 24 conversations téléphoniques sur deux paires de fils.

En Hollande, la société P.T.I. (Philips' Telecommunicatie Industrie) a mis au point un central autocommutateur téléphonique entièrement électronique, d'une capacité de 1 000 lignes : ETS-3. Un central de ce type est intégré au réseau téléphonique public néerlandais, à Utrecht et un autre au réseau danois, à Aarhus. Du point de vue de l'usager, ce système présente quelques caractéristiques remarquables : l'abonné peut bloquer les appels entrant tout en se gardant la possibilité d'établir des communications sortantes ; il peut disposer d'un combiné avec numérotation au clavier. En outre, ETS-3 se dépanne lui-même : les pannes sont signalées par un téléscripteur.

Il est donc clair que la commutation électronique aura sur le téléphone un effet aussi révolutionnaire que celui de la commutation électromagnétique. Mais cette révolution ne se fera pas brutalement. En France, l'électronisation du réseau ne débutera qu'en 1970. Et aux Etats-Unis, lorsqu'on sait que l'équipement téléphonique actuellement en plaçe a une valeur de 15 milliards de dollars, on comprend qu'il ne pourra être remplacé du jour au lendemain.

La radio et la fréquence modulée

A l'insu du profane, de grands progrès en matière de communications par câbles ont été effectués grâce à l'électronique, mais les communications au moyen d'émetteurs mobiles ont toujours intrigué le grand public et le rôle qu'y ont joué la radio et l'électronique est beaucoup mieux connu. Le « walkie-talkie » — ce petit émetteur-récepteur radio alimenté par batteries et qui peut être porté en bandoulière — fut mis au point lors de la

seconde guerre mondiale pour permettre aux soldats au combat de communiquer entre eux à courte distance. Des modèles plus gros équipèrent les tanks, les camions militaires et les véhicules similaires. Après la guerre, les techniciens mirent au point un équipement destiné aux voitures de police, aux ambulances, aux taxis, aux voitures de pompiers tout comme aux autos appartenant à des médecins ou à des reporters, ou encore destiné aux navires, tels que les remorqueurs et les bateaux-pompes dans les ports, etc. Sur les chantiers, des opérations d'envergure peuvent être dirigées et coordonnées à partir d'un point central en équipant bulldozers et grues de radiotéléphones mobiles. En général, ces appareils sont simplifiés : ils fonctionnent sur des fréquences fixes allouées par l'organisme officiel s'occupant des télécommunications dans le pays concerné. Dans un système classique, tel que celui utilisé par la police ou les radiotaxis, le bureau central est relié à une série de stations émettrices automatiques situées en des points stratégiques, stations qui fonctionnent sans personnel. Chacune dispose de sa propre antenne, de sorte que les voitures sont toujours à portée de l'émission diffusée depuis le bureau central.

La difficulté d'éliminer les parasites causés, soit par l'écoulement de l'électricité statique, soit par des appareils électriques, constitue un des principaux inconvénients des communications entre stations mobiles. Autre difficulté : maintenir la stabilité des fréquences d'émission et de réception. Ces deux difficultés sont supprimées grâce au recours à la modulation de fréquence (fréquence modulée ou F.M.). La F.M. fut inventée dans les années 1930 par un professeur d'université américain, Edwin Armstrong. Il entra en lutte avec les grands réseaux américains de radio qui travaillaient alors en modulation d'amplitude (système à amplitude modulée ou A.M.). On peut comprendre aisément la différence existant entre les deux méthodes, la F.M. et l'A.M., en comparant la radio à une pompe (voir fig. 35). Dans le cas de la modulation d'amplitude, cette pompe électrique aspire le courant porteur dans l'antenne, puis le refoule plusieurs milliers de fois par seconde, tandis que ce courant est modulé par le courant engendré par la voix au moyen d'un microphone qui augmente ou diminue la puissance ou plus exactement l'amplitude de ce courant porteur, au rythme des fluctuations de la voix. Notons qu'en A.M., cette pompe fonctionne à une vitesse constante. En

modulation de fréquence, l'amplitude du courant d'antenne demeure constante, mais la *vitesse* de la pompe varie selon les fluctuations du courant engendré dans le micro par la voix. Dans le récepteur, les ondes F.M. sont mélangées avec des ondes produites par un oscillateur local ; le résultat est la production

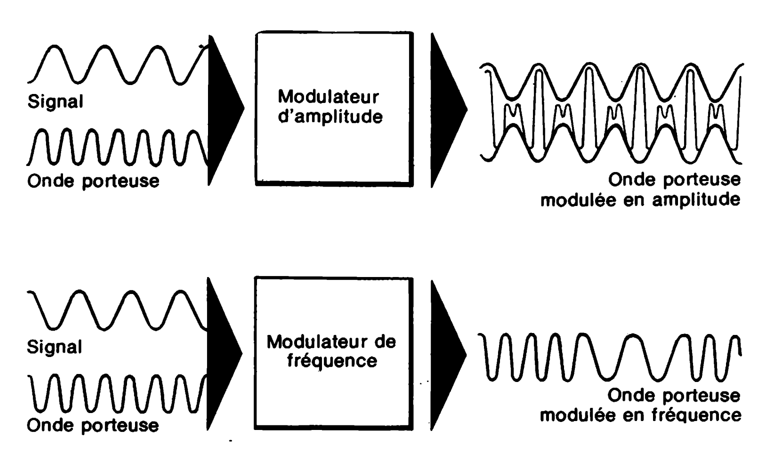


Figure 35. Comparaison de la modulation d'amplitude et de la modulation de fréquence.

d'ondes de fréquence intermédiaire — c'est le classique système hétérodyne — ces ondes passent alors par un « limiteur », car il faut que l'amplitude de l'onde soit maintenue constante. Le « limiteur » a donc pour mission d'écrêter les ondes de manière à supprimer tout ce qui dépasse l'amplitude voulue.

Les ondes passent ensuite par un détecteur final qui convertit leurs variations de fréquence en ondes sonores. Puisque les parasites statiques, tout comme les autres genres de perturbations en général, sont modulés en amplitude, ils sont pratiquement éliminés au sein du récepteur.

La longue bataille entamée par les Américains qui détenaient des intérêts établis, et engagée contre Armstrong, le conduisit finalement au suicide en 1954. Mais les avantages de la F.M.

étaient trop considérables pour demeurer ignorés et aujourd'hui, les grands réseaux américains de radio ont, dans une large mesure, adopté la F.M. En Europe, après la guerre, les Allemands — en parents pauvres — avaient reçu en partage des ondes très courtes des gammes réservées à la F.M., alors peu exploitée. Ils furent les premiers à utiliser à plein, en Europe, cette nouvelle technique... et les autres pays européens suivirent. Quoique la F.M. requière une plus grande largeur de bande que l'A.M., il est possible de placer plusieurs stations F.M. sur la même fréquence avec très peu d'interférences car — comme les ondes T.V. qui sont d'une longueur d'onde similaire — leur portée est limitée grosso modo par la courbure de la terre. On peut donc ainsi installer beaucoup de stations dans une même région en dépit du nombre toujours insuffisant de fréquences disponibles.

Le public apprécie aujourd'hui la réception en haute-fidélité de la F.M., réception à l'abri des parasites. D'autre part, vu ses avantages, la F.M. remplace l'A.M. de plus en plus pour la radiodiffusion à partir d'émetteurs fixes, au fur et à mesure que l'éther devient de plus en plus encombré ; elle prend quasi complètement sa place dans le domaine des stations mobiles.

Le recours aux circuits intégrés et à la technique du film, qui ont été décrits au chapitre 3, pour la fabrication d'appareils de radio mobiles, va apporter de très intéressants perfectionnements dans un proche avenir. Cette tendance est illustrée par un émetteur-récepteur mis au point au Canada et qui peut travailler, au choix, sur 3 500 canaux différents quoiqu'il pèse moins de 4,5 kg et mesure 15 cm × 10 cm × 4 cm : il peut donc facilement tenir dans la main. Avec le recours de plus en plus étendu à la micro-électronique, on peut s'attendre à voir bientôt des radiotéléphones se glissant dans la poche, mis à la disposition non seulement de la police et d'autres organisations officielles, mais utilisés aussi bien par le simple particulier.

Masers et lasers

La révolution dans le domaine des télécommunications que nous

avons examinée jusqu'ici, est le résultat de l'application, par les techniciens du télégraphe, du téléphone et de la radio, des possibilités nouvelles de l'électronique, y compris la miniaturisation des composants. Un domaine entièrement neuf de l'électronique nous offre maintenant la possibilité d'accomplir des progrès considérables en matière de télécommunications (et aussi dans bien d'autres domaines) et beaucoup de physiciens et d'ingénieurs électroniciens y consacrent actuellement leur énergie. Je veux parler ici du maser (dont le laser n'est qu'un cas particulier) qui a souvent subi les feux de la rampe ces dernières années. Quelques mots à propos de la notion de « bruit » et de l'utilisation des micro-ondes aideront ceux qui sont peu familiers avec la technique, à apprécier cet engin à sa juste valeur.

Dans son sens le plus large, le « bruit » dans un système de télécommunications donné provient de l'un des différents phénomènes qui peuvent gêner le fonctionnement du système, phénomènes qui échappent au contrôle de ceux qui font usage de ce système de télécommunications. Le mot « bruit », dans le sens où il est utilisé ici, a une signification très précise et elle ne doit pas être confondue avec le sens habituel qui lui est donné et qui recouvre des sensations sonores aussi bien plaisantes que désagréables. La musique la plus harmonieuse constitue un « bruit » si elle étouffe, par exemple, la conversation de deux personnes qui discutent des cours de la bourse !

Un des critères importants qui permettent d'apprécier la qualité de la transmission d'un canal de communications donné, peut être calculé par comparaison de la quantité d'énergie du signal utile à un instant donné à la quantité d'énergie représentée par le bruit total transmis : c'est ce qu'on appelle le *rapport signal-bruit*. Les techniciens consacrent une grande partie de leurs recherches dans le domaine des télécommunications à améliorer ce fameux rapport signal-bruit. Il existe de nombreuses sources de bruits, les uns produits par des appareils construits par l'homme, les autres engendrés par des phénomènes naturels. L'origine de ces parasites nous est malheureusement trop familière. Mais il y a une source de bruit qui constitue un facteur limitatif en matière de télécommunications et qui ne peut être éliminé par les méthodes habituelles. Il s'agit du bruit de fond causé par le mouvement désordonné des électrons dans un matériau conducteur, bruit qui augmente avec la tem-

pérature et qui disparaît seulement quand celle-ci descend jusqu'au zéro absolu, c'est-à-dire, jusqu'à — 273°. Tous les amplificateurs classiques produisent un bruit de fond aux températures situées au-dessus du zéro absolu, et ce facteur de bruit d'un amplificateur peut être exprimé en termes de *température de bruit*, c'est-à-dire, le nombre de degrés thermiques dont il faut augmenter la température de l'amplificateur, pour que la puissance du bruit double à sa sortie.

Il apparaît clairement qu'aucun signal dont le niveau est inférieur au bruit thermique propre d'un amplificateur, ne peut être discerné à la sortie de celui-ci. C'est un facteur limitatif inexorable qui s'oppose à toute tentative visant à détecter, par exemple, des échos radar trop faibles renvoyés par des cibles éloignées, ou des signaux affaiblis provenant de radio-sources situées à très longue distance. Ceci était vrai du moins jusqu'à l'invention du maser.

Le genre d'amplification considéré jusqu'ici repose sur le principe de l'écoulement contrôlé d'une énergie en réserve telle que l'énergie d'une batterie à accumulation. Ce contrôle s'exerce sur des électrons traversant une enceinte dans laquelle on a pratiqué le vide ou contenant un gaz, ou encore dans un semiconducteur. Dans le maser, l'énergie est emmagasinée par pompage dans les molécules et les atomes isolés et ensuite relâchée en permettant à ces molécules et à ces atomes en état d'excitation, de réagir à l'action d'ondes électromagnétiques d'une longueur d'onde spécifique. Cela explique le nom « maser », abréviation de « Microwave Amplification by Stimulated Emission of Radiation », c'est-à-dire « Amplification de micro-onde par émission stimulée de radiation » (voir fig. 36).

L'action s'exerçant entre les atomes et la radiation est bien connue puisque la lumière provenant du Soleil ou d'une lampe est due à l'émission spontanée d'une radiation provenant des atomes au sein desquels les électrons sautent d'un niveau élevé d'énergie à un niveau inférieur. Pareillement, l'absorption d'ondes électromagnétiques de fréquence spécifique par les atomes possédant des électrons de haute énergie, se traduira par la descente des électrons à des états inférieurs d'énergie, avec émission de quanta d'énergie qui peuvent être absorbés par l'onde provoquant l'excitation. Ceci revient à amplifier les ondes électromagnétiques sans que cette amplification soit affectée par le mouvement désor-

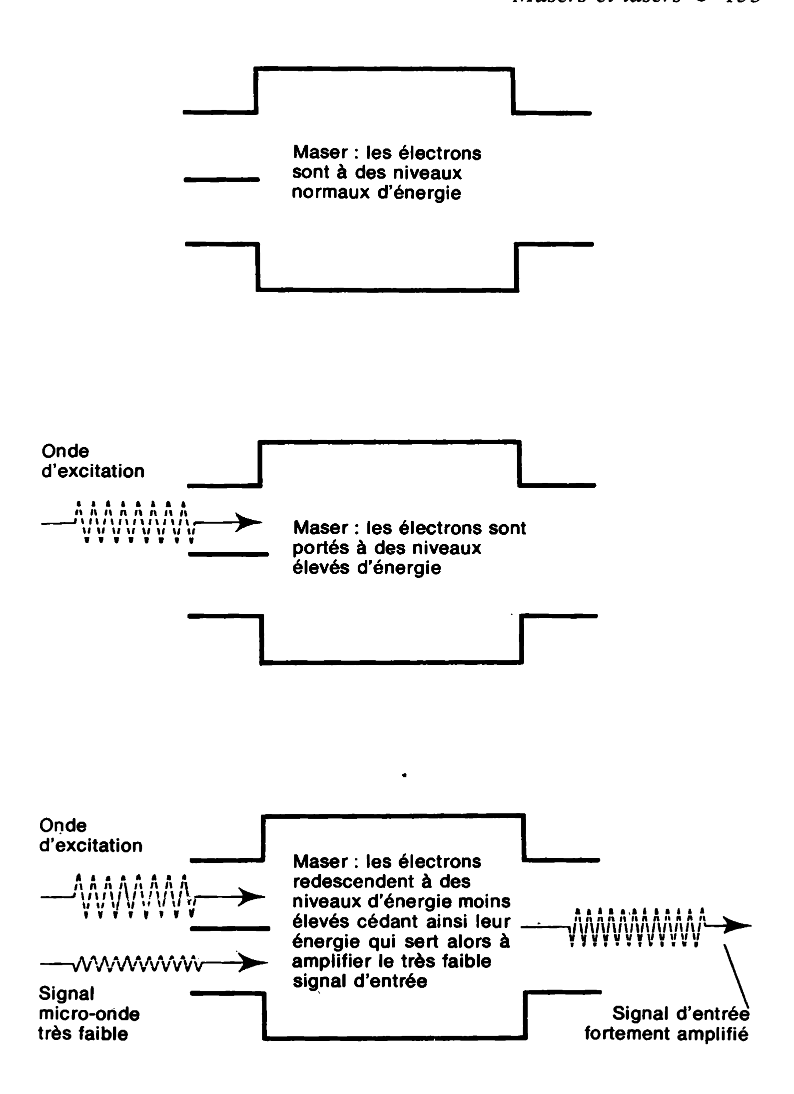
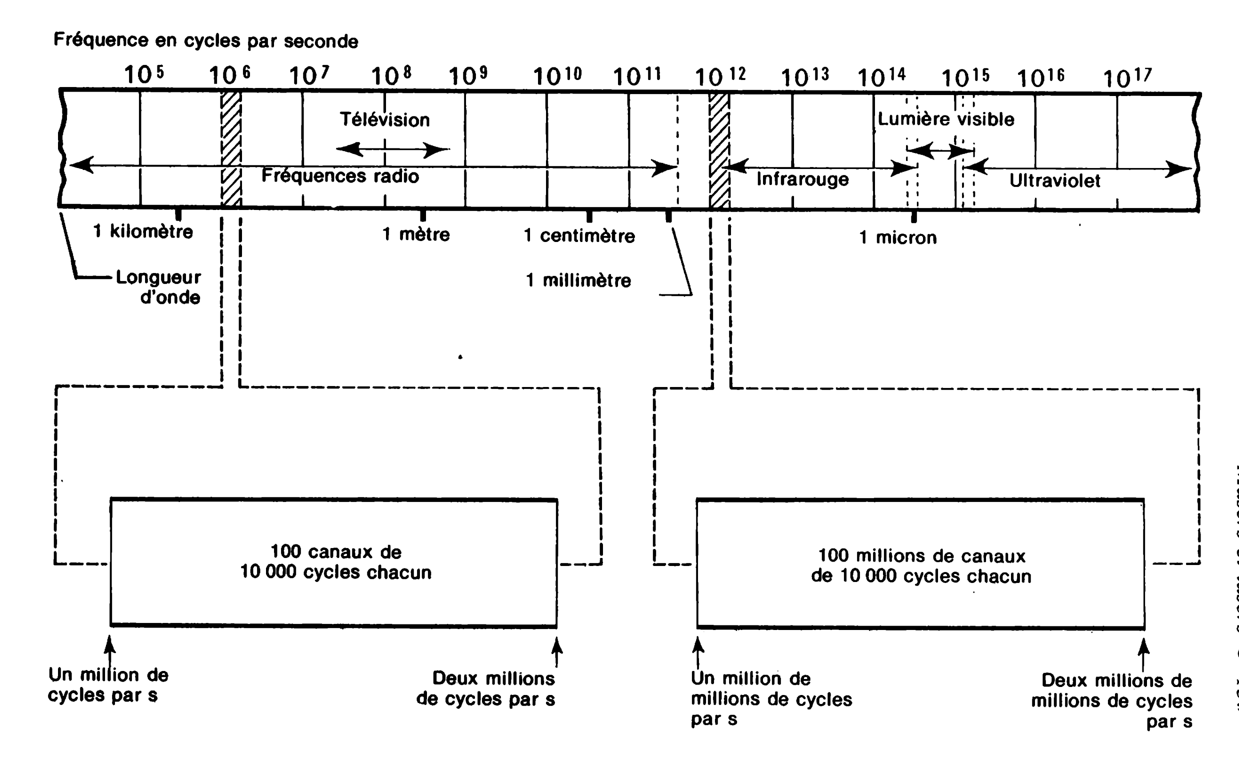


Figure 36. Schéma simplifié qui montre le principe du maser.

donné des électrons, c'est-à-dire par le bruit. Tandis que la température de bruit d'un bon amplificateur de type conventionnel dans la gamme des micro-ondes se situe entre 1000° et 2000° K, un amplificateur maser possède une température de bruit inférieure à 2° K, ce qui constitue une quantité à peu près négligeable. En termes clairs, cela signifie que la quantité minimale d'énergie d'un signal micro-onde qui peut être détecté par un amplificateur maser est d'environ 10 photons, soit un nombre de photons 1 000 fois plus petit que le minimum détectable par un bon amplificateur du type conventionnel.

La mise au point du radar et des systèmes de télécommunication au cours de la guerre a largement étendu l'utilisation des micro-ondes et accru notre connaissance de leurs propriétés. En 1945, les longueurs d'onde des micro-ondes les plus courtes dont on avait fait usage, étaient d'environ 0,5 cm, ce qui correspond à une fréquence d'environ 60 gigacycles par seconde (un gigacycle = un milliard de cycles). Les savants et les ingénieurs en vinrent alors à s'intéresser aux longueurs d'onde encore plus petites s'étendant jusqu'aux régions millimétriques et « submillimétriques » du spectre électromagnétique. Le désir d'entreprendre des recherches dans le domaine de ces longueurs d'onde très courtes s'étendant jusqu'à l'infrarouge et même jusqu'au spectre visible, n'était pas dû simplement à une soif de connaissances, mais était motivé par le besoin pressant de disposer de nouvelles longueurs d'onde pour caser les nombreux canaux de télécommunications qui ne pouvaient trouver place dans les autres bandes surchargées situées beaucoup plus bas dans le spectre. Il n'est pas difficile de comprendre pourquoi il y a plus de place dans la partie supérieure du spectre électromagnétique (fig. 37). Si nous allouons une largeur de bande de 10 000 cycles à chaque canal, la partie du spectre électromagnétique comprise entre les fréquences de 1 million de cycles par seconde et de 2 millions de cycles par seconde (c'est-à-dire une partie considérable de la bande des ondes moyennes de la radio) peut recevoir un maximum d'une centaine de ces canaux sans que ceux-ci se chevauchent, tandis que la gamme de fréquences située dans la

Figure 37. On peut placer beaucoup plus de canaux dans les bandes supérieures du spectre électromagnétique. ▶


Fréquence en cycles par seconde
10^5
10^6
10^7
10^8
10^9
10^{10}
10^{11}
10^{12}
10^{13}
10^{14}
10^{15}
10^{16}
10^{17}
Télévision
Lumière visible
Fréquences radio
Infrarouge
Ultraviolet
1 kilomètre
1 mètre
1 centimètre
1 micron
Longueur d'onde
1 millimètre
100 canaux de 10 000 cycles chacun
100 millions de canaux de 10 000 cycles chacun
Un million de cycles par s
Deux millions de cycles par s
Un million de millions de cycles par s
Deux millions de millions de cycles par s

région des ondes sub-millimétriques comprise entre 1 million de millions de cycles par seconde et de 2 millions de millions de cycles par seconde peut très bien loger, théoriquement du moins, 100 millions de canaux de ce genre ! Il est vrai que, plus nous nous rapprochons du spectre visible, plus les ondes ressemblent aux ondes lumineuses et, puisque de telles ondes sont arrêtées par des obstacles s'interposant sur leur passage, elles ne conviennent que pour les communications en ligne droite sans obstacle s'interposant entre émetteur et récepteur ; mais ceci ne constitue pas toujours un inconvénient, par exemple dans les cas des satellites de télécommunications.

Les recherches intensives entreprises en vue d'une production d'ondes millimétriques et sub-millimétriques démarrèrent vers 1950 ; elles porteront bientôt leurs fruits. En 1951, l'idée d'utiliser l'émission stimulée de radiation pour amplifier des ondes très courtes vint indépendamment à l'esprit des membres de trois équipes de physiciens : une équipe de l'université de Columbia, conduite par C.H. Townes, qui détient les brevets de base du maser ; A. Prokhorov et N. Basov de l'Institut Lebedev à Moscou ; et J. Weber de l'université du Maryland. Il ne faut cependant pas oublier de signaler que le principe de l'émission stimulée a été décrit par Einstein dans un manuscrit datant de... 1917 !

Le premier maser utilisait un faisceau de molécules d'ammoniac qui étaient lancées à travers un petit orifice, dans une cavité où l'on avait pratiqué le vide. Là, les molécules étaient soumises à des champs électriques qui les tiraillaient dans un sens puis dans l'autre, de manière que les molécules portées à un tel état d'excitation étaient concentrées à travers un trou dans une autre cavité, cavité construite de telle façon qu'elles puissent entrer en résonance avec les micro-ondes qui s'y trouvaient et leur communiquer leur surplus d'énergie. En 1953, J.P. Gordon, un jeune diplômé de l'université de Columbia, réussit à fabriquer un maser qui oscillait et qui pouvait donc aussi bien engendrer de très hautes fréquences que les amplifier.

Les masers ont rendu possibles des progrès révolutionnaires dans un certain nombre de domaines variés. Utilisés comme amplificateurs de micro-ondes, ils sont 1 000 fois plus sensibles que n'importe quel autre type d'amplificateur et, pratiquement, n'introduisent aucun bruit supplémentaire dans le signal amplifié ; ceci a permis d'accroître considérablement la portée des

radars et des émetteurs à longue distance. Les laboratoires Lincoln ont établi une liaison transcontinentale par réflexion sur la Lune, en utilisant des amplificateurs masers.

D'autres masers, montés sur des radiotélescopes, multiplient encore la portée de ceux-ci par un facteur 10, nous permettant ainsi de reculer d'autant les frontières de l'univers connu. Les oscillateurs masers engendrent des fréquences plusieurs milliers de fois plus élevées que celles pouvant être obtenues au moyen d'un tube électronique. Ils ont frayé ainsi un chemin aux techniques électroniques vers les régions du spectre se situant au-delà des micro-ondes. Puisqu'on peut faire osciller les masers à des fréquences demeurant extrêmement stables, ils peuvent être employés pour piloter des horloges atomiques d'une précision incroyable : on a atteint une exactitude telle qu'au bout de 10 000 années l'erreur sera inférieure à une seconde. Des possibilités encore plus excitantes peuvent être ajoutées à cette liste déjà sensationnelle si l'on y inclut celles de ces masers qui fonctionnent dans les régions de l'infrarouge et du spectre visible et qui sont mieux connus sous le nom de lasers.

Le laser (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation ; c'est-à-dire : amplification de la lumière par émission stimulée de radiation) est la suite normale découlant des recherches sur le maser et, en différents pays, beaucoup de chercheurs, au cours des dix dernières années, ont mis au point et employé différents types de lasers. Le premier maser qui fonctionna avec succès à des fréquences lumineuses, fut construit aux Etats-Unis, en 1960, par T.H. Maiman, des laboratoires de recherches de la Hughes Company (voir fig. 38). Il employa un barreau de rubis possédant deux faces parallèles. Le tube d'une lampe *flash* produisant des éclairs très intenses de lumière bleue entourait le barreau de rubis. Le rubis est un cristal très dur d'oxyde d'aluminium et sa couleur rouge est due à la présence d'une petite proportion d'atomes de chrome, lesquels peuvent être excités au moyen d'une lumière de longueur d'onde spécifique. Dans le premier laser, les atomes de chrome excités étaient amenés à des niveaux d'énergie où l'effet maser pouvait avoir lieu. L'énergie des atomes excités était transférée à des ondes infrarouges qui, après avoir été réfléchies plusieurs fois entre les faces parallèles du cristal, étaient projetées vers l'extérieur sous la forme d'un faisceau de lumière très intense mais malheureusement in-

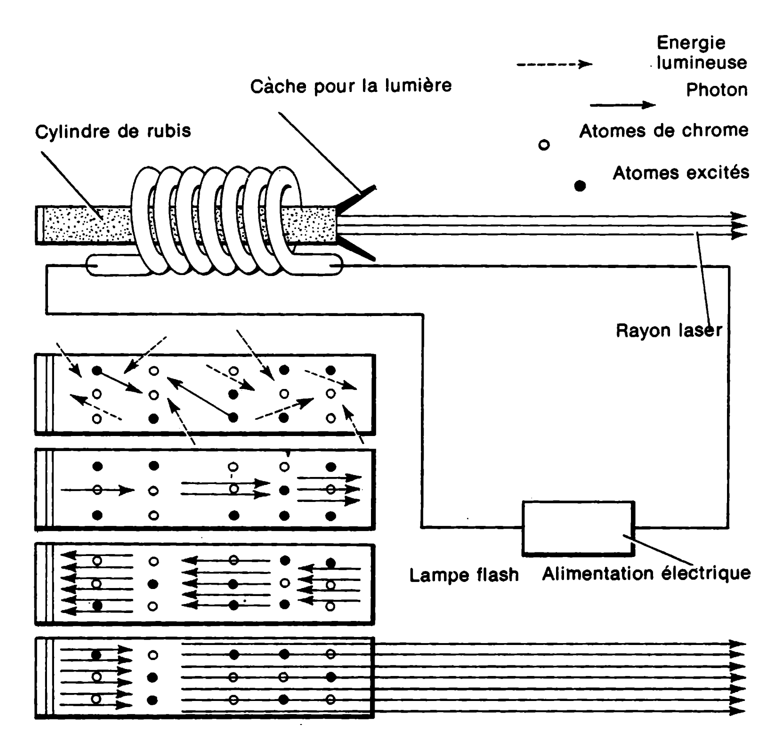


Figure 38. Mode d'excitation d'un laser à rubis : les atomes de chrome contenus dans le rubis sont excités et portés à des niveaux d'énergie plus élevés au moyen d'une lampe flash. Une face du cylindre de rubis est recouverte complètement d'argent tandis que l'autre ne l'est qu'à 99 pour 100. Après s'être réfléchie plusieurs fois entre les faces argentées, l'énergie induite par les atomes excités sort à travers la face partiellement argentée sous la forme d'un faisceau très intense d'une lumière d'un rouge très pur.

termittent. C'était le laser du type « laser pulsé ».

Très vite après le premier laser, Javan, Bennett et Herriott, des laboratoires de la Bell Telephone, en présentèrent un second où une décharge lumineuse dans de l'hélium transférait l'énergie des atomes d'hélium excités à un gaz néon de façon que soient engendrées des oscillations continues de fréquences lumineuses. Aussitôt, des recherches intensives suivirent en Amérique, en

Grande-Bretagne et en Russie et, en quelques années, on a employé de nombreux cristaux différents et de nombreux mélanges de gaz pour produire l'effet laser. Ces appareils sortirent bientôt des laboratoires et commencèrent à être employés pour des travaux pratiques. Récemment, les chercheurs ont mis au point des lasers utilisant des semi-conducteurs qui ont un meilleur rendement.

Pourquoi tous ces efforts consacrés aux lasers ? Parce que ces engins, qui disposent de propriétés uniques, ouvrent des perspectives fantastiques. D'abord la lumière qu'ils émettent est monochromatique, c'est-à-dire qu'elle est d'une pureté extrême. La lumière du laser a une fréquence qui peut atteindre un millier de millions de millions de cycles par seconde, mais sa stabilité est telle que sa variation de fréquence ne dépasse pas un cycle par millier de secondes ! Aucune autre source de lumière, qu'elle soit naturelle ou artificielle, n'approche un tel degré de pureté et de stabilité. Nous verrons l'importance de ces qualités dans le domaine des télécommunications un peu plus loin. Ensuite, le rayon laser est très directif : le faisceau lumineux du laser se disperse beaucoup moins que n'importe quel faisceau de lumière produit au moyen d'un projecteur, il présente moins d'un centième de la divergence du faisceau du meilleur projecteur électrique. Le laser constitue ainsi la meilleure « corde » dont disposent la science et la technique. Par exemple, un rayon laser concentré sur la Lune au moyen d'un bon télescope y éclairera une surface pas plus grande que trois terrains de football. La très grande cohérence du rayon laser et sa convergence ont déjà été mises à profit pour effectuer des travaux d'arpentage d'une extrême précision.

Enfin, l'intensité du rayon laser est de loin supérieure à celle de toute autre source lumineuse connue. La puissance relativement faible employée pour produire le faisceau peut être concentrée en un faisceau d'une densité égalant 100 millions de fois celle du rayon primitif ! Cette « aiguille » de lumière sortant du laser peut donc concentrer une quantité énorme d'énergie sur une très petite surface. Elle peut, par exemple, forer en un clin d'œil un trou minuscule dans un bloc d'acier ou dans un diamant. Déjà les fabricants de coffres-forts se sont informés auprès des laboratoires spécialisés des mesures à prendre pour rendre leur production inattaquable au « chalumeau-laser ». Ce chalumeau est éga-

lement utilisé pour souder intimement des matériaux réfractaires. Aujourd'hui, on a recours au laser pour des travaux requérant une précision extrême, tels que la chirurgie de l'œil, les mesures de précision en tous genres, la commande automatique de machines, le façonnage précis de matériaux très durs, etc.

L'application la plus extraordinaire du laser est sans doute l'holographie. Il s'agit là d'une vieille technique de photographie sans objectif, à laquelle le laser a apporté ses lettres de noblesse. Cette technique — grâce au laser — produit des effets proprement étonnants : elle permet de photographier des objets en relief, et la reproduction de ceux-ci permet de les contempler sous leurs différentes facettes ! Voici le principe de base de l'holographie : le faisceau lumineux émis par le laser est divisé en deux rayons. L'un sert de référence, l'autre est envoyé vers l'objet à reproduire. On fait interférer le rayon de référence avec le rayon réfléchi par l'objet. Le diagramme de ces interférences est enregistré sur une pellicule photographique. On obtient ainsi un « hologramme ». Il suffit alors d'éclairer celui-ci au moyen d'un laser de même longueur d'onde pour obtenir l'extraordinaire reproduction en relief, visible sous ses différentes facettes, de l'objet photographié.

Ces différentes utilisations du laser sont certes passionnantes mais ce qui nous intéresse dans ce chapitre, c'est son utilisation dans la technique des télécommunications. La pureté extraordinaire de la fréquence lumineuse émise par le laser rend possible l'emploi des fréquences lumineuses pour porter des canaux de télécommunications. Les problèmes qui consistent à trouver des moyens pratiques pour moduler le faisceau de l'émetteur et le démoduler dans le récepteur sont en voie d'être résolus. Ce qui est formidable c'est qu'on gagne une place considérable pour y caser une quantité quasi astronomique de canaux. La difficulté insurmontable rencontrée actuellement pour trouver de la place encore libre pour mettre de nouveaux canaux dans la bande de fréquences radio et micro-ondes, disparaîtra bientôt grâce à l'emploi d'ondes lumineuses. La totalité de la bande utilisée jusqu'à présent pour la radio et les micro-ondes occuperait à peine un millième de la gamme des ondes lumineuses. La partie du spectre électromagnétique occupée par les ondes lumineuses, qui s'étend sur plus de trois milliards de mégacycles, permettrait d'attribuer un canal à chaque être humain. Aucun technicien

n'aurait pu raisonnablement faire une telle proposition avant la découverte du laser, mais la stabilité extrême en fréquence de ces engins la rend réalisable. La grande directivité du rayon laser rend techniquement possible l'exploitation de ces millions de canaux sans que ceux-ci se gênent mutuellement. La seule restriction est que, le rayon laser, étant composé d'ondes lumineuses, n'a qu'une portée optique. Mais, nous l'avons vu pour la F.M., on peut très bien se faire à cette restriction.

La citation de J.B.S. Haldane placée en exergue au présent chapitre et qui a dû paraître très « science-fiction » en 1923, à l'époque où elle fut écrite, constitue une prédiction qui ne semble pas loin de se réaliser. La capacité qu'a le rayon laser de couvrir des distances immenses et son habileté pour atteindre avec précision des cibles très éloignées, justifient que l'on se lance dans quelques spéculations concernant ses développements futurs. Si l'on se servait d'un grand télescope de 2,50 m, placé sur orbite en dehors de l'atmosphère terrestre, pour diriger vers l'espace un rayon laser, celui-ci serait visible à l'œil nu à une distance d'un dixième d'*année-lumière**. Et si l'observateur s'aidait d'un télescope similaire, le rayon envoyé de cette manière pourrait être détecté à une distance d'une centaine d'années-lumière ! Cette idée pourrait servir de base, à l'avenir, à un système de communications interplanétaire et interstellaire.

•

Les communications par satellite

L'aspect le plus spectaculaire de la révolution dans le domaine des télécommunications est l'utilisation des satellites artificiels. Ceux-ci peuvent être considérés comme un système de relais par micro-ondes dont les antennes seraient placées au sommet d'une tour de plusieurs centaines de kilomètres de hauteur de manière à avoir une grande portée. Pour le lecteur habitué aux exploits de l'âge spatial, il ne paraît pas très extraordinaire de s'entretenir par téléphone avec un ami par-dessus l'Atlantique, grâce à un signal qui rebondit sur une sorte de ballon de football tournoyant à plusieurs centaines de kilomètres au-dessus du sol, pas plus qu'il ne lui semble fantastique de suivre un programme de

télévision retransmis par un appareillage électronique situé dans ledit ballon. Toutefois, pour l'ingénieur des télécommunications d'avant 1950, une telle idée relevait de la plus pure fantaisie. Cependant, à cette époque, il existait au moins un prophète. L'idée d'utiliser des satellites comme relais pour les télécommunications fut proposée pour la première fois par Arthur C. Clarke (l'écrivain de science-fiction bien connu qui, entre autres, a écrit le scénario du film de Stanley Kubrick *2001, l'Odyssée de l'Espace* et fut un des fondateurs de la British Interplanetary Society) dans un article publié dans le numéro d'octobre 1945 de la revue anglaise *Wireless World*. Le point le plus remarquable de cet article est que le système proposé par Clarke se compose de trois satellites « synchrones » qui devaient assurer la couverture complète du globe. De tous les systèmes possibles que l'on peut mettre en œuvre, il semble bien que le système suggéré par Clarke soit celui qui a été définitivement choisi ; il est adopté par l'INTELSAT, consortium international d'exploitation des satellites de télécommunications groupant plus de 60 nations. Mais pour que l'idée de Clarke devienne une réalité, il a fallu attendre vingt ans, le temps de réaliser les progrès techniques nécessaires dans le domaine de l'électronique, des télécommunications et de l'espace. Ni la pression du marché, ni la justification économique des satellites-relais n'existaient jusqu'à ce que la pose du premier câble téléphonique transatlantique en 1951 et des autres câbles qui le suivirent, déclenchât un processus d'accélération dans le rythme de la demande de liaisons téléphoniques transocéaniques. Cette demande grandit plus rapidement que la capacité totale des câbles, tant en ce qui concerne les communications téléphoniques, que les données, les programmes de télévision ou les transmissions de *fac-similé**.

Les énormes capitaux nécessaires pour lancer et mener à bien un programme expérimental conduisant à un système opérationnel de télécommunications par satellites, furent avancés par le gouvernement américain, par le truchement de son administration spécialisée, la N.A.S.A. (National Aeronautics and Space Administration) et par des puissantes compagnies telles que l'American Telephone and Telegraph et la Hughes Aircraft Company. Cependant les techniques utilisées n'avaient été mises au point que grâce à l'apport d'ingénieurs et de savants de plusieurs pays. De même, la mise en place d'un système mondial de télécommunica-

tions n'est possible que grâce à la coopération internationale. La nation qui voudrait détenir le monopole de l'utilisation des satellites s'apercevrait bientôt que rien ne sert de posséder un satellite s'il n'y a personne pour recevoir les messages que l'on envoie par son intermédiaire.

Il restait à apporter la preuve que l'idée d'un satellite de télécommunications était chose pratiquement réalisable : cette preuve fut fournie au mois de décembre 1958, lorsque SCORE, un satellite équipé d'un émetteur radio, fut placé sur orbite par une fusée Atlas et y resta assez longtemps pour transmettre autour du monde, un message de Noël du président Eisenhower. Ce n'était pas vraiment ce que l'on appelle aujourd'hui un satellite de télécommunications. En effet, d'abord il ne s'agissait pas réellement d'un satellite, mais simplement d'une fusée Atlas qui avait été satellisée. D'autre part, cet engin n'était pas équipé d'un véritable relais mais d'un enregistreur qui, sur commande du sol, débitait un message du président Eisenhower préalablement enregistré. En août 1960, ECHO, un gigantesque ballon en matière plastique aluminisée qui se gonfle automatiquement après satellisation, fut utilisé comme réflecteur passif, comme une sorte de miroir. Du sol, on dirigeait vers lui de puissants faisceaux de radio portant des conversations téléphoniques de haute qualité qui étaient ainsi, par réflexion, transmises par-dessus l'Atlantique. Mais ces expériences cessèrent lorsque le ballon fut trop déformé à force d'être transpercé par des micro-météorites. Un satellite actif doté d'un répéteur et baptisé COURIER, qui avait à son bord un magnétophone enregistrant les messages envoyés du sol puis les retransmettant lorsqu'il survolait le pays auquel le message était destiné, fut lancé avec succès en octobre 1960. Toutefois, il cessa de fonctionner après dix-huit jours seulement.

En octobre 1961, les Américains firent leur première tentative pour réaliser leur projet WEST FORD. Ce projet consistait à disperser des millions de minuscules aiguilles de cuivre de manière à former une ceinture métallique en orbite autour de la terre. Cette ceinture aurait dû agir comme réflecteur vis-à-vis des micro-ondes. Mais cette tentative échoua parce que les aiguilles ne s'éparpillèrent pas. Ce projet fut âprement critiqué par les astronomes qui considéraient que cela gênerait grandement leurs observations. Aussi, ne fut-il pas poursuivi, mais les Américains pourraient bien le garder en réserve comme système à utiliser

en temps de guerre, système ne pouvant être détruit par l'ennemi. De toute façon, ce système de télécommunications offre des possibilités très limitées, car il est purement passif et demande que les stations émettrices dirigent vers la ceinture d'aiguilles des ondes de très grande puissance, de manière que l'écho renvoyé par ce nuage d'aiguilles soit décelable par les stations réceptrices.

En 1962, furent lancés les satellites de télécommunications actifs RELAY et TELSTAR. Relay était un projet officiel civil de la N.A.S.A., conçu pour pouvoir transiter environ 100 conversations téléphoniques ou un canal de télévision. Pour les Européens, c'est Telstar qui, réellement, fit entrer les communications par satellite dans le domaine des réalités et il nous semble intéressant de décrire les événements en détail. Telstar fut conçu et réalisé par les laboratoires de la Bell Telephone afin d'expérimenter les possibilités offertes par un satellite actif capable de transmettre des signaux « large bande », et afin aussi de recueillir des données sur l'environnement spatial et ses effets sur les appareils électroniques équipant le satellite. Ces informations pouvaient être envoyées vers les stations de poursuite au sol, grâce à un système de télémétrie assez complexe comprenant 115 canaux. Inversement, ces stations au sol pouvaient être équipées pour faire fonctionner le système commandant le satellite. Telstar est un satellite à peu près sphérique, d'un diamètre d'environ 85 cm et il pèse au sol 77 kg. A l'intérieur de cette sphère, se trouve une boîte de 48 cm de diamètre maintenue par des cordes en nylon et contenant tout l'équipement électronique noyé dans de la mousse plastique. On y trouve plus de 1 000 transistors, 1 500 diodes, une lampe et un tube à ondes progressives. Le satellite reçoit des signaux en F.M. de fréquences s'approchant de 6 000 mégacycles par seconde. Il les amplifie environ 5 000 millions de fois, puis, les retransmet vers le sol avec une puissance d'environ 2 watts sur des fréquences de l'ordre de 4 000 Mcs. En outre, un signal de balisage de faible puissance peut être transmis sur 4 080 Mcs et des signaux de commande et de télémétrie peuvent être émis et reçus respectivement sur 123 et 136 Mcs. Cet équipement électronique est alimenté par 3 600 cellules solaires au silicium disposées autour de la sphère, cellules qui chargent une batterie au nickel-cadmium. Cependant, quand tout l'équipement fonctionne, il consomme plus d'énergie que les cellules solaires ne peuvent en produire. C'est pourquoi il est prévu de pouvoir faire

fonctionner ou arrêter l'émetteur du satellite sur commande au sol. Telstar fut lancé par la N.A.S.A. depuis Cap Canaveral (rebaptisé depuis Cap Kennedy), le 10 juillet 1962, au moyen d'une fusée Thor Delta à 3 étages. Il fut placé sur une orbite elliptique ayant un périgée de 954 km et un apogée de 5 638 km, une période de révolution de 158 minutes et une inclinaison sur le plan de l'équateur de 45°. Ces chiffres sont très proches de ceux prévus sur le papier et la poursuite ultérieure du satellite révéla que celui-ci suivait les orbites prévues. Le satellite trace différentes routes sur la surface de la terre à chaque orbite et la période de visibilité simultanée par les stations au sol américaine et anglaise dure environ 30 minutes, trois ou quatre fois par 24 heures, mais la durée de cette période décroît régulièrement. Trois stations au sol prirent part aux essais entrepris avec Telstar : aux Etats-Unis, la station d'Andover, dans le Maine ; en Grande-Bretagne, celle de Goonhilly Downs, dans les Cornouailles ; et en France, celle de Pleumeur-Bodou, en Bretagne. Les stations américaine et française avaient été conçues par les laboratoires de la Bell Telephone. Elles comportent une antenne-cornet d'une hauteur de 29 m et d'une largeur totale de 54 m, avec une ouverture de près de 400 m². Constituée d'une part en acier, d'autre part en alliage d'aluminium, chaque antenne ne pèse pas moins de 380 tonnes ! Elle peut se mouvoir sur le plan horizontal à l'aide de deux rails concentriques de respectivement 40 et 28 m de diamètre, pour le pointage en azimuth. Elle peut également pivoter sur le plan vertical grâce à une roue dentée de 21 m de diamètre, pour le pointage en élévation. La station de Goonhilly Downs conçue et construite en Grande-Bretagne, est installée en Cornouailles, à moins de 6 km du site de Poldhu d'où Marconi émit son signal historique par-dessus l'Atlantique en 1901.

L'antenne de Goonhilly constitue elle aussi un remarquable spécimen de la technique moderne. C'est un disque parabolique, d'un diamètre de 25 m et pesant environ 870 tonnes ; il pivote sur une table tournante pour les changements d'azimuth et sur des axes horizontaux pour les changements d'élévation. Cette construction massive conçue pour résister à des vents de plus de 100 km/h, est équipée de moteurs puissants commandés automatiquement pour poursuivre le satellite se déplaçant dans le ciel, avec une précision de quelques minutes d'arc. Les données

destinées à commander cette poursuite automatique sont traitées au moyen d'un ordinateur. Puisque le signal reçu depuis le satellite a une puissance inférieure à un millionième de millionième de watt, la partie essentielle de l'équipement électronique est constituée par un amplificateur, un maser, installé juste derrière la parabole.

Après un faux départ dû à un malentendu entre les équipes américaine et anglaise, les ingénieurs des Postes Britanniques travaillant à Goonhilly, captèrent les signaux provenant du satellite juste comme celui-ci s'élevait au-dessus de l'horizon la nuit du 11 au 12 juillet. Ils purent ainsi recevoir des images de télévision d'excellente qualité provenant d'Andover. C'est de cette nuit-là que date la première transmission de télévision en direct entre l'Europe et l'Amérique et des milliers de téléspectateurs en Amérique, en Grande-Bretagne, et en France purent partager le triomphe des ingénieurs et des savants qui avaient travaillé à ce projet. Le jour suivant, on procéda à des essais de transmission téléphonique transatlantique utilisant 12 canaux téléphoniques dans chaque sens. Les communications furent excellentes, comportant très peu de bruit. Les essais ultérieurs montrèrent que le satellite pouvait tout aussi bien retransmettre simultanément 600 conversations téléphoniques de bonne qualité. Le 16 juillet, les premiers signaux de télévision en couleurs furent envoyés vers le satellite. Ils furent émis de Goonhilly vers Telstar et, de là, renvoyés à Goonhilly avec une très faible dégradation de la qualité, bien que le satellite ait parcouru durant ce temps 16 000 km à travers l'espace.

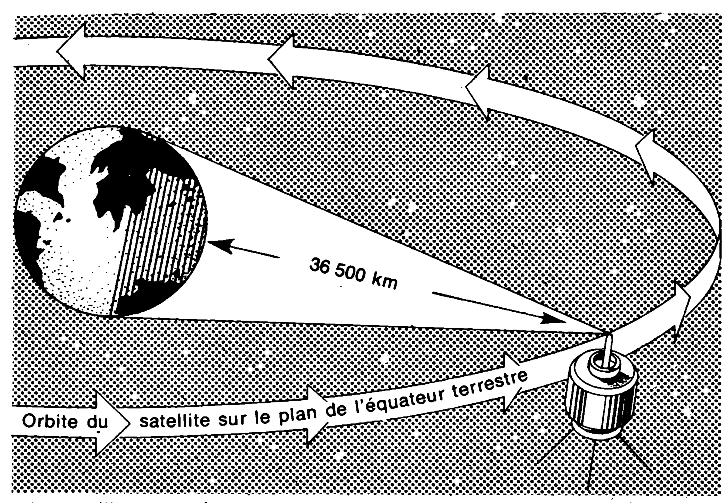
Parallèlement, la station française de Pleumeur-Bodou, construite en toute hâte en huit mois, établissait des liaisons avec Andover. Cela amena même un différend entre Anglais et Français. En effet, le 28 juin, un accord avait été conclu entre les membres de l'Eurovision à Trébeurden (France). Aux termes de cet accord, aucun pays membre ne pouvait envoyer des images d'un programme vers les Etats-Unis avant le jour « J » fixé au 23 juillet. Les signataires étaient convenus qu'il fallait entendre par là des programmes autres que ceux destinés aux seuls techniciens et ne présentant aucun intérêt pour le public. Les Français transmirent un bout de film, datant de plusieurs années, où Yves Montand chantait un de ses succès. Cet « exploit » souleva une campagne de protestation en Grande-Bretagne. Les

Anglais accusant les Français d'avoir contrevenu aux accords, les Français rétorquant qu'il ne s'agissait que d'une vieille émission... Bien vite les choses se tassèrent et le 23 juillet eut lieu la première émission en « Mondovision ». Pendant une vingtaine de minutes, les Européens reçurent les images provenant d'Amérique. Au passage suivant du satellite, l'Europe envoya ses images aux Américains.

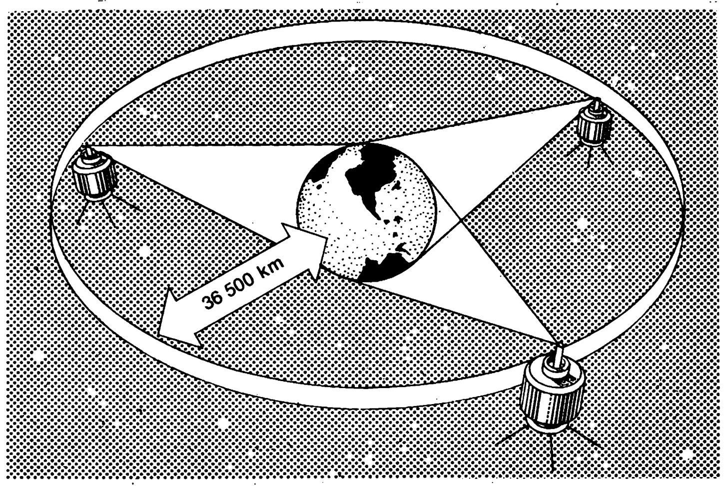
Ces expériences continuèrent avec Telstar et l'une d'elles qui se déroula en conjonction avec Relay, est particulièrement intéressante à noter. En novembre 1963, une liaison transatlantique dans les deux sens fut établie entre deux réunions de médecins l'une à Chicago et l'autre à Londres. Dans la matinée, plusieurs experts se trouvant à Chicago répondirent aux questions posées via Telstar par les médecins se trouvant en Grande-Bretagne, tandis qu'au cours de l'après-midi, les médecins en Grande-Bretagne répondirent aux questions provenant de Chicago posées via Relay. Aujourd'hui, on espère que Telstar restera sur orbite pendant encore 200 ans mais son équipement électronique a cessé de fonctionner.

Telstar et Relay ont démontré, plus qu'il ne le fallait, les possibilités qu'offre le satellite de télécommunications. Toutefois, des engins similaires ne pourraient constituer des systèmes rentables à cause de leur altitude relativement basse qui réduit le temps où ils sont visibles simultanément par deux stations au sol éloignées l'une de l'autre. De sorte que la période d'utilisation réelle serait inférieure à 2 heures par 24 heures. On a étudié différents types d'orbites, circulaires et elliptiques, sur le plan de l'équateur ou sur le plan des pôles, orbites se situant à des altitudes s'étendant de 1 500 km à 300 000 km, etc. Attardons-nous au cas très particulier d'un satellite orbitant dans le plan de l'équateur, dans le sens de la rotation de la terre, à une altitude de 36 500 km, car il offre beaucoup d'avantages. Faisant un tour de la terre alors que celle-ci accomplit un tour sur elle-même, un tel satellite paraît stationnaire pour un observateur terrestre et 3 satellites de ce type pourraient servir à couvrir le monde entier sans interruption. De tels satellites sont appelés « satellites synchrones » (voir fig. 39).

La Communication Satellite Corporation (COMSAT) fut constituée aux Etats-Unis, et en collaboration avec la N.A.S.A., lança le programme SYNCOM pour tester les possibilités des satellites syn-



a. Le satellite apparaît immobile aux yeux d'un observateur situé en n'importe quel point de la zone hachurée



b. Trois satellites stationnaires couvrent l'entièreté de la surface terrestre

Figure 39. Un satellite synchrone permet d'établir des communications directes entre plusieurs points d'une zone équivalant à plus d'un tiers de la surface du globe ; trois satellites de ce type convenablement disposés peuvent assurer la couverture totale du globe.

chrones. Syncom 2 fut lancé avec succès sur une orbite synchrone en juillet 1963, et au cours des douze mois qui suivirent, il démontra brillamment les avantages du système synchrone. Ce satellite, en forme de tambour, comportait un équipement électronique des plus compliqués pouvant assurer l'émission, la réception, la télémétrie, la commande des alimentations électriques et des *senseurs** solaires. En outre, il était doté de petites fusées à gaz qui en firent le premier satellite de télécommunications vraiment contrôlable. Il se plaça au-dessus de l'Afrique à la position prévue, au-dessus de l'équateur, puis fut déplacé à une longitude de 55° ouest au-dessus de l'Amérique du Sud ; la précision de la commande se révéla être de l'ordre du centième de degré ! Le faisceau émis par l'antenne du satellite en rotation fut dirigé dans la bonne direction en l'orientant doucement quatre jours après son lancement. Il obéit docilement à toutes les commandes transmises par les stations terrestres. En mars 1964, on le déplaça vers l'ouest à la vitesse d'environ 1,5° par jour, de manière qu'il puisse être utilisé pour établir des télécommunications au-dessus de l'océan Pacifique au mois de mai de cette année-là. Au cours du mois de mars 1964, il a transité plus de 2 000 heures de télécommunications, y compris les communications téléphoniques, de la télévision, du *télétype**, du fac-similé, et des données. En outre, Syncom 2 a répondu docilement à 12 000 commandes mettant en marche ou arrêtant le fonctionnement de l'équipement électronique et des petites fusées à gaz et cela, sans aucune panne.

Etant donné l'altitude élevée à laquelle orbite un satellite synchrone (qui est de 36 500 km, rappelons-le), une objection n'a pas manqué d'être soulevée : le temps mis par un signal pour monter jusqu'au satellite et en redescendre, à la vitesse de la lumière, est de 0,3 seconde, temps qui risquait d'être gênant au cours d'une conversation téléphonique transocéanique. Toutefois, ce délai se révéla être supportable en pratique. Les Jeux Olympiques de Tokyo en 1964, fournirent l'occasion de démontrer, à l'échelle mondiale, la valeur du système synchrone. Syncom 3 fut lancé le 19 août et guidé vers sa position au-dessus de la ligne de changement de date et il commença le 1er octobre à relayer de Tokyo jusqu'à la côte ouest des Etats-Unis des images de télévision qui se révélèrent excellentes. De là, les images étaient injectées à Buffalo au réseau micro-ondes américain et transmises

ensuite via le réseau canadien jusqu'à Montréal où les images étaient enregistrées sur bande magnétique, puis envoyées par avion à réaction à Hambourg où elles étaient alors diffusées sur le réseau Eurovision.

1965 fut une année décisive pour la COMSAT. On décida de continuer l'emploi du système synchrone mis au point par la Hughes Aircraft Company plutôt que d'adopter le système Bell-R.C.A. qui utilisait des satellites orbitant à des altitudes moyennes de l'ordre de 10 000 km. Le premier système ne nécessitait que 3 satellites (ou éventuellement 3 paires de satellites) tandis que le second en demandait 24, s'ils étaient placés sur des orbites quelconques, ou 12, s'ils étaient placés sur des orbites contrôlées. Les experts de la Hughes proclamaient que le coût de la construction, du lancement et des essais des satellites est grosso modo proportionnel au nombre de satellites requis pour accomplir une mission donnée et ils avançaient le chiffre d'un peu plus de 3 000 000 de dollars par satellite. Les satellites synchrones cependant pouvaient être commandés avec précision et maintenus en une position précise, ce qui permettait d'exploiter au maximum leur puissance, laquelle devait toutefois être plus élevée que celle des satellites d'altitude moyenne, orbitant beaucoup plus près du sol. Ce fut Early Bird, un satellite synchrone, lancé en avril 1965, qui emporta la décision finale. Ce satellite était conçu pour retransmettre 240 canaux téléphoniques à 2 voies entre l'Europe et l'Amérique du Nord. Il joue en quelque sorte le rôle d'un central téléphonique situé en plein ciel. Il est doté d'un émetteur beaucoup plus étroit que celui de ses prédécesseurs. Il est bon de souligner qu'Early Bird est un satellite commercial, c'est-à-dire que, tout comme un câble transatlantique, ses circuits sont loués à des utilisateurs (les compagnies s'occupant du téléphone des deux côtés de l'Atlantique). Avec lui, nous quittons la période expérimentale : le satellite est définitivement devenu un engin utilitaire.

Early Bird a été suivi par une deuxième série de satellites baptisée Intelsat II. Celle-ci comprend 4 satellites : le premier, Lani Bird fut lancé le 26 octobre 1966 au-dessus de l'océan Pacifique. Ce lancement fut partiellement raté, c'est-à-dire que le satellite n'étant pas parfaitement placé sur une orbite équatoriale, il n'est pas « fixe » dans le ciel. Aussi bientôt, le 11 janvier 1967, l'INTELSAT fit-elle lancer par la N.A.S.A. un deuxième

satellite : Canary Bird. Ce satellite permit d'établir des liaisons régulières (et commerciales !) entre les Etats-Unis d'une part, le Japon et l'Australie d'autre part, sans oublier ce petit morceau des Etats-Unis perdu dans le Pacifique : les îles Hawaii. Il faut savoir qu'Early Bird n'avait qu'une longévité de dix-huit mois. Il a largement dépassé cette limite mais, pour éviter toute interruption dans le trafic transatlantique et par précaution, Atlantic 2 fut mis sur orbite le 22 mars 1967. En outre, le 27 septembre 1967 fut placé au-dessus du Pacifique, Blue Bird qui devait seconder Canary Bird. Ces 4 satellites de la série Intelsat II sont assez semblables à Early Bird, bien qu'un peu plus gros : ils se présentent sous la forme d'un tambour de 1,20 m de diamètre, équipé d'une série de cellules solaires qui produisent deux fois plus d'énergie électrique que celles d'Early Bird et qui sont reliées à des dispositifs astucieux qui rendent cette puissance captée du Soleil utilisable au mieux pour les communications. La capacité d'un satellite Intelsat II est la même que celle d'Intelsat I, c'est-à-dire 240 voies téléphoniques (ou 2 canaux T.V.) mais la zone couverte est double : les 2 hémisphères sont couverts au lieu de l'hémisphère Nord seulement dans le cas d'Early Bird. De cette façon, les cinq continents peuvent être reliés entre eux au moyen de ces relais spatiaux. C'est pour exploiter cette possibilité nouvelle que fut mis sur pied un programme de Mondovision, diffusé le 25 juin 1967 où, pour la première fois, les cinq continents retransmirent un programme commun. Ce programme, appelé « Notre Monde », permit à environ 200 millions de téléspectateurs de se promener — en direct — aux quatre coins de la planète. Durant deux heures, les téléspectateurs passèrent — en direct — de Paris à New York, de Tokyo à Tunis, de Melbourne à Vancouver. Toujours en direct, ils passèrent d'aujourd'hui à demain (à cause des différences de fuseaux horaires) et sautèrent de pays se trouvant en été à des pays se trouvant en hiver. Bref, pour la première fois, se justifia vraiment le slogan : « Cinq continents, une seule image. » En novembre 1968, le lancement du premier satellite de la série Intelsat III, avorta. Rappelons que chaque satellite de cette série a une capacité de 1 200 voies téléphoniques (4 voies TV). En décembre de la même année, un second satellite de la même série fut lancé avec succès : il fut placé en position synchrone au-dessus de l'océan Atlantique. Il fonctionna

parfaitement durant six mois puis tomba brusquement en panne. En février 1969 un autre satellite de la même série fut placé au-dessus de l'océan Pacifique, ultérieurement déplacé au-dessus de l'océan Indien. Pour la première fois, l'INTELSAT disposait simultanément de satellites au-dessus des océans Atlantique, Pacifique et Indien : pour la première fois, la couverture du globe devenait possible. Le lancement d'un cinquième satellite en juillet 1969 échoua lamentablement.

Le 21 juillet 1969 à 3 heures du matin, (heure française) eut lieu une grande première : le débarquement des premiers hommes sur la Lune. Ce fut également une grande première pour ce qu'on pourrait appeler la « Cosmovision » : les images prises en direct sur la Lune étaient transmises vers la Terre et, grâce aux différents satellites de télécommunications, diffusées dans le monde entier.

Entre 1971 et 1973, est prévu le lancement de quatre satellites de la série Intelsat IV : chacun de ces satellites pourra convoyer 6 000 voies téléphoniques, soit 12 canaux TV. Mais ce n'est qu'un début, déjà les projets prévoient des satellites de 20 000, voire de 50 000 ou 100 000 voies téléphoniques ! Parallèlement à la construction de ce « segment spatial », s'érigent partout dans le monde des stations au sol destinées à utiliser les services de ces satellites, car à quoi sert de pouvoir disposer de satellites s'il n'y a pas de stations au sol pour les recevoir ? A l'heure actuelle, les Etats-Unis disposent de 6 stations au sol. Fin 1968, 22 stations étaient en fonctionnement dont 14 dans la zone Atlantique, et 8 dans la zone Pacifique. Il est prévu que, en 1970, plus de 60 stations seront en exploitation à travers le monde.

Toutefois, quelle que soit la croissance du nombre de satellites et l'augmentation considérable de leur capacité, quelle que soit la vitesse à laquelle s'implantent partout dans le monde les stations au sol, la véritable révolution des satellites de communication n'est pas là. Les spécialistes se sont mis d'accord pour déterminer trois stades dans le développement des satellites :

1) *les liaisons de point à point*. C'est le stade actuel. Le satellite ne peut assurer la liaison qu'entre deux stations terrestres ou même plusieurs stations (c'est ce qu'on appelle l'« accès multiple »). Nous en sommes toujours à ce premier stade. La puissance réduite du satellite exige des antennes d'émission et de

réception de très grandes dimensions, comme celles de Pleumeur-Bodou ou Goonhilly Downs ;

2) *les satellites de distribution.* Ces satellites plus gros et dotés d'un émetteur beaucoup plus puissant, pourront être captés par de multiples stations au sol de moindre envergure. Néanmoins, celles-ci seront encore assez complexes et onéreuses. Elles ne seront pas à la portée de la bourse d'un particulier, mais des organismes de radio-télévision, certaines villes (qui pourront distribuer des images par câble) ou même certaines communautés (immeubles à appartements multiples) pourront en faire l'acquisition, les antennes n'ayant que quelques mètres d'envergure et les installations s'y rapportant étant d'une complexité moyenne ;

3) *les satellites de diffusion.* Mais si nous fabriquons des satellites suffisamment puissants, leurs émissions pourront être reçues directement par des particuliers au moyen d'une antenne de dimension modeste, de l'ordre de 1 à 2 mètres d'envergure. Moyennant l'adjonction d'un amplificateur et d'un adaptateur, les émissions du satellite pourront être suivies sur un poste ordinaire de télévision. Les experts estiment que la réception dans chaque foyer pourrait commencer dès 1972. D'abord, toute la puissance du satellite sera concentrée sur une zone « réduite » (la France, l'Inde ou l'Indonésie, par exemple) ou encore une zone plus minime. Ainsi, un projet-pilote de l'Unesco en voie de réalisation prévoit pour 1972 d'arroser une zone de 1 500 km située en Inde, pour y diffuser des programmes T.V. éducatifs. Le Brésil, pour sa part, met en œuvre un projet semblable. Ces deux pays ont obtenu la collaboration de la N.A.S.A. : ils pourront utiliser durant quelques mois un satellite de télécommunications expérimental de la série A.T.S. (Applications Technology Satellite).

A plus long terme, ces satellites de diffusion seront dotés d'une source nucléaire suffisamment puissante pour fournir le courant nécessaire pour alimenter leurs gros émetteurs. Une fois ce problème résolu, aucun obstacle technique ne s'opposera plus à la réalisation de ces satellites. Je l'ai déjà dit, les experts estiment que la réception dans chaque foyer sera techniquement possible dès 1972. Plus tard, un satellite pourra assurer la couverture maximale c'est-à-dire qu'un seul satellite pourra couvrir de ses émissions 40 pour 100 de la surface du globe. Un même satellite pourra diffuser plusieurs programmes de radio, de télé-

vision ou même des journaux transmis par fac-similé, sur une même région ou sur des régions différentes et cela, soit simultanément, soit successivement en fonction des fuseaux horaires.

Il n'est pas besoin d'être prophète pour prédire les graves répercussions sociales que vont avoir les satellites de diffusion directe dans chaque foyer. D'ici une dizaine d'années, grâce à eux, n'importe quel habitant d'Afrique, d'Amérique du Nord ou d'Amérique du Sud, d'Asie ou d'Europe, qu'il soit sur la terre ferme, à bord d'un bateau ou d'un avion, pourra capter de multiples programmes de radio, de télévision ou même recevoir les journaux à domicile en provenance de tous les coins du monde. On imagine quelle révolution cela va être, par exemple, dans la vie des marins qui, où qu'ils soient sur l'océan, pourront recevoir les émissions de leur pays !

Révolution fantastique lorsque l'on songe qu'aujourd'hui, dans de grandes capitales comme Paris ou Rome, on ne peut recevoir encore que deux programmes de télévision. C'est un choix bien limité ! A l'avenir, le satellite étant placé au-dessus de l'équateur, ces émissions pourront être aussi bien reçues aux Etats-Unis qu'en Europe, voire en pleine brousse africaine ou encore à bord du jet Paris-Tokyo...

C'est très bien pour les pays industrialisés qui disposent de nombreux téléviseurs mais — objectera-t-on — les habitants du Tiers monde ne sont pas à même de profiter de cette merveilleuse invention : même arrosés par de multiples programmes, ils n'auront pas les moyens financiers pour acquérir des récepteurs. L'objection est de taille, apparemment... mais si elle était valable, il faudrait en déduire qu'il n'y a pas de récepteurs à transistors dans le Tiers monde... Ce serait également oublier ce que nous avons dit de la micro-électronique. Aujourd'hui, les techniciens, grâce aux circuits intégrés, sont sur le point d'industrialiser des téléviseurs plus compacts, plus fiables (moins de risques de pannes) et moins chers parce que fabriqués en grande série. Ils envisagent de mettre sur le marché d'ici quelques années des téléviseurs pour 50 dollars ! Certes, chaque famille n'aura pas les moyens de s'offrir un téléviseur. Cependant, chaque village pourra en acheter un en communauté, d'autant plus que le gouvernement, l'Unesco ou une firme privée pourra le lui fournir à des conditions avantageuses. En outre, il ne faut pas oublier que la technique électronique ne cesse de se perfectionner.

Pour le village d'Afrique, d'Asie, d'Amérique latine ou d'Océanie, recevoir dix ou vingt programmes en provenance des quatre coins du monde constituera, on l'imagine aisément, une véritable révolution. En effet, là-bas, loin des villes, pas de cinémas, pas d'affiches, pas d'illustrés, juste quelques transistors. L'introduction brutale de ce flot d'images électroniques va complètement bouleverser la vie. Il s'agit d'une véritable « révolution copernicienne » pour cette population non initiée au langage cinématographique et télévisuel. Par ailleurs, il existe un danger de tomber dans un subtil néo-colonialisme : en suivant des programmes (même très bien conçus) provenant d'un pays développé, l'autochtone ne pourra manquer de subir l'influence de ce mode de vie, au long des mois, des années. Déjà, le cinéma a répandu une caricature de l'homme blanc et d'autres stéréotypes. La télévision risque de continuer sur cette lancée. Un exemple frappant de ce néo-colonialisme : actuellement les téléspectateurs tunisiens subissent une certaine « italianisation » et pour cause : la télévision tunisienne, trop pauvre, relaie à doses massives les programmes de la télévision italienne, donnés en italien évidemment.

D'autre part, ne nous dissimulons pas que, même pour les habitants des pays développés, la réception quotidienne de multiples programmes, provenant de tous les coins de la planète, va poser quelques difficultés, ne serait-ce que par la nécessité d'un choix à opérer.

En outre, il y a encore un autre grave danger : on peut penser que certains songent déjà à utiliser les satellites à des fins de propagande. Il est vrai qu'une résolution des Nations unies, adoptée à l'unanimité, a interdit la propagande par satellite. Mais qui peut dire où commence la propagande ? D'un autre côté, il n'est pas douteux que certains envisagent d'arroser les pays industrialisés comme le Tiers monde de programmes très attrayants, entrelardés, de publicité. Déjà omniprésente dans les pays industrialisés, quels malencontreux effets la publicité n'aurait-elle pas sur des communautés non préparées, y créant des besoins intempestifs que, ni leurs moyens financiers, ni d'ailleurs l'économie du pays ne leur permettraient de satisfaire.

Cependant, si nous avons souligné ces dangers des satellites, c'est à cause de leur puissance. Si nous le voulons, celle-ci peut tout aussi bien être attelée à des tâches plus positives. A notre

époque, nous sommes placés devant les problèmes du Tiers monde, aux dimensions de plus en plus gigantesques, en raison de l'expansion démographique. A notre époque, le pourcentage des analphabètes diminue, mais leur nombre augmente ! Selon l'Unesco, le nombre d'analphabètes adultes a augmenté de 40 millions entre 1950 et 1963. Grâce aux satellites, il serait possible de mettre sur pied une télévision scolaire à l'échelle d'un continent et combler ce retard. En outre, les satellites capables de relier entre eux des pays très éloignés, permettront aux différents peuples de mieux se connaître, et pour se connaître, rien de tel que les liaisons directes. De cette façon, les satellites pourraient apporter une contribution appréciable à la paix mondiale.

De la manière dont nous utiliserons les satellites, dépendra l'avenir de l'humanité. C'est en ce moment que se décide la question fondamentale de savoir si la télévision par satellites et si les télécommunications par satellites en général seront exploitées comme une entreprise commerciale servant les intérêts de quelques-uns, ou si elles seront considérées comme un organisme public mis au service de l'humanité.

Perspectives d'avenir

Le rythme auquel se développe la révolution des télécommunications, comme j'ai essayé de le montrer dans ce chapitre, semble s'accélérer. Un réseau mondial en expansion rapide, composé de câbles, de liaisons radio et de liaisons par satellite, transite maintenant un trafic qui croît de plus en plus rapidement. Aussitôt que de nouveaux systèmes de télécommunications sont mis en service pour répondre à la demande, ils mettent de nouveaux moyens à la disposition des usagers et créent de nouvelles relations qui, à leur tour, créent de nouvelles demandes. Ces faits rendent le proche avenir à la fois difficile et excitant à prédire, mais je me hasarderai néanmoins à quelques prédictions basées sur l'extrapolation des tendances actuelles. Dans les vingt prochaines années, les pays techniquement les plus avancés se construiront un réseau national de télécommunications complexe, exactement comme ils se sont édifié un réseau de distribution

d'électricité. Ces réseaux électroniques seront capables de transmettre sur de très hautes fréquences des signaux à très large bande. Ils se composeront de relais micro-ondes, de guides d'ondes, de câbles connectant entre eux les principales villes et desservant les habitants de ces centres, tout comme le fait le réseau électrique ou téléphonique. Par la suite, le réseau téléphonique sera intégré à ce réseau électronique. Des techniques électroniques telles que la compression de bande par enregistrement magnétique et la modulation par impulsions, permettront d'utiliser ce réseau de la manière la plus rationnelle possible. Celui-ci transitera des programmes de radio et de télévision, programmes nationaux comme programmes locaux. De même, il permettra l'échange de toutes sortes d'informations visuelles et autres entre les organisations gouvernementales et officielles, et les organisations industrielles, commerciales, scientifiques, éducatives, tout comme celles s'occupant de la santé et des loisirs. Les particuliers profiteront également de ces facilités. Quand ces réseaux seront bien mis en place, ils serviront également à la transmission du courrier au moyen de systèmes électroniques tels que les télé-imprimeurs et le fac-similé par la voie de circuits de communications privés. La télévision, le fac-similé, la reproduction et l'enregistrement électroniques remplaceront par la suite la plupart des méthodes actuelles d'impression et de distribution des écrits et des images. A la fin du siècle, je pense que la transmission des journaux utilisera une partie importante de la capacité de ce réseau.

Dans les vingt prochaines années, on assistera à un processus d'intégration des réseaux téléphoniques nationaux et des réseaux nationaux de télécommunications au réseau mondial de télécommunications. Celui-ci reposera sur l'utilisation de câbles sous-marins, de la radio et aura recours aux satellites. L'emploi de plus en plus grand de la micro-électronique garantira la sécurité de fonctionnement de ces liaisons et fournira une redondance suffisante — c'est-à-dire qu'elle permettra d'avoir en réserve un nombre suffisant de canaux de communications, donc plus qu'il n'en est nécessaire pour qu'une panne totale soit très improbable. Je l'ai déjà souligné, ce réseau mondial transitera également des programmes de télévision destinés au monde entier, des nouvelles internationales et de la propagande, des conversations téléphoniques provenant de quelque 600 millions

d'abonnés au téléphone, la plupart d'entre eux pouvant atteindre directement chaque autre pour un prix modique, en formant simplement un numéro sur le cadran ; des informations météorologiques ; des communications entre bateaux et avions et le sol ; des données concernant le commerce ou l'industrie s'échangeant entre les usines et les firmes éloignées l'une de l'autre de plusieurs milliers de kilomètres. Des « lignes rouges » relieront entre eux les différents gouvernements du monde, de manière à fournir des circuits capables de transmettre aussi bien des conversations téléphoniques que de la télévision en couleurs, afin que rien n'échappe à l'œil de nos responsables. Ces réseaux exerceront certainement une influence énorme sur la société et leurs modes d'influence seront discutés dans les chapitres ultérieurs, car je pense avoir avancé suffisamment de prévisions pour ce chapitre-ci. J'invite mon lecteur à faire lui-même quelques prédictions sur ce thème ; les possibilités sont infinies.

Chapitre 5

UN ŒIL QUI EST PARTOUT

Une image vaut mille mots.
Vieux proverbe chinois.

Pour beaucoup de gens, la télévision est simplement une forme moderne de divertissement à domicile, qui ne demande pas d'autre effort que celui de tourner un bouton, ou d'éviter de le faire si les programmes ne sont pas intéressants. En réalité, la télévision représente plus que cela. La télévision est une invention d'une plus grande portée, et qui revêt une signification beaucoup plus importante que l'invention de l'imprimerie. En effet, il est probable que, associée aux autres techniques électro-optiques, la T.V. supplantera l'imprimerie avant la fin du siècle. Le rôle joué par la télévision dans la révolution de l'électronique a déjà été évoqué dans le chapitre traitant des télécommunications et nous en reparlerons encore dans les chapitres suivants. Toutefois, étant donné l'importance du sujet, il me paraît indiqué d'y consacrer un chapitre entier.

Des images transmises par fil

L'introduction de la télégraphie par fil, au milieu du XIXe siècle, a amené un certain nombre d'inventeurs à trouver un moyen pour transmettre également des images au moyen de fils. Le premier système de phototélégraphie que l'on connaisse, système assez grossier, il faut bien le dire, fut inventé en 1862 par l'abbé

Caselli, dont les expériences furent encouragées par Napoléon III. Caselli élabora une méthode qui permettait de convertir les parties d'une photographie (les daguerréotypes faisaient fureur à l'époque) en des signaux électriques, lesquels étaient envoyés le long des lignes télégraphiques, puis recomposés à l'autre bout. Il ouvrit en France un certain nombre de stations commerciales qui pouvaient envoyer et recevoir des messages écrits de la propre main de l'expéditeur. Mais ce procédé était désespérément lent ; il avait pour lui la nouveauté plutôt qu'il ne présentait une valeur pratique.

La cellule photo-électrique au sélénium fut inventée en 1873. Elle offrit un moyen pratique pour convertir les blancs et les gris d'une image en un courant électrique mais, c'est plutôt surprenant, la transmission d'images mouvantes au moyen de fils fut réalisée avant la première transmission réellement pratique d'images fixes par le Français Edouard Belin en 1904. Cette première version de la télévision reposait sur une invention mécanique : le disque explorateur, inventé par Paul Nipkow.

Toutefois, avant de parler de Nipkow, il me paraît intéressant de signaler l'invention d'un Français, Constantin Senlecq qui décrivit, dès 1877, un procédé de télévision tout à fait acceptable. Le premier, il formula le principe de l'analyse séquentielle des images. Constantin Senlecq naquit à Fauquemberges, en Artois, en 1842. Durant ses études de notaire, il se lia avec un colonel, ancien polytechnicien, qui avait fait de la galvanoplastie son passe-temps favori. Celui-ci inculqua sa passion au jeune Senlecq. Ce dernier étudia les lois régissant les dépôts métalliques de l'électrolyse. Il mit même au point un vernis permettant de faire de la galvanoplastie sur végétaux. Pour perfectionner son anglais, il s'abonna à la célèbre revue (qui existe toujours) *Scientific American*. Un des premiers numéros qu'il reçut, en 1876, faisait état de l'invention de Graham Bell : le téléphone. Par ailleurs, le même numéro fournissait des informations concernant l'influence exercée par la lumière sur la conductivité du sélénium. Rapprochant les deux informations, notre physicien amateur mit au point, en deux ans, un projet très élaboré. Il baptisa son invention, le « Téléctroscope ». Il la rendit publique dans une brochure publiée simultanément à Paris, à Londres et à New York. Plusieurs journaux en firent mention, dont *Les Mondes* en France et le *Scientific American*.

Voici le principe de l'invention de Senlecq : l'image est projetée sur une plaque isolante percée de multiples petits trous remplis de sélénium. Une face de la plaque isolante est recouverte d'une feuille de laiton qui sert d'électrode commune. Un fil de cuivre est fixé au centre de chaque cellule de sélénium, l'autre extrémité de ce fil étant reliée à un des nombreux plots d'un commutateur rotatif. A la réception, un autre commutateur se déplace en synchronisation avec celui de l'émetteur. Il est facile alors de traduire les signaux électriques en une image au moyen de filaments lumineux.

Senlecq procéda lui-même à quelques expériences mais ne parvint jamais à réaliser complètement son invention. Rappelons qu'il ne s'agissait là pour lui que d'un passe-temps. Lorsque, sur la fin de sa vie, la T.V. commença à entrer dans la réalité, Senlecq, qui avait le sens de l'humour, fit encadrer à côté d'une lettre où Graham Bell affirmait que l'« invention du téléctroscope valait bien l'invention du téléphone », une autre que lui avait adressée l'Académie des sciences après qu'il lui ait fait part de son invention. Cette lettre historique déclare péremptoirement que le « problème de la transmission électrique des images est une utopie irréalisable ».

Ce n'était pas sans doute l'avis de Nipkow lorsqu'il inventa son disque. Ce procédé d'exploration qui peut servir aussi bien pour les images fixes que pour les images mobiles, est basé sur la persistance rétinienne de l'œil humain, tout comme le procédé de Senlecq. L'œil humain ne perçoit pas les interruptions de l'image dont la durée est inférieure à un vingtième de seconde et toute série d'images similaires présentées à l'œil à une cadence supérieure à vingt par seconde lui apparaît comme étant une même image (qui est en mouvement, dans le cas du cinéma ou de la T.V.). Le disque de Nipkow est perforé d'une série de petits trous disposés en spirale, chacun se trouvant un peu plus près du centre que le précédent. Le disque est placé entre une source de lumière et l'objet à éclairer. Il tourne de telle façon que la lumière traverse un trou après l'autre et, après un tour complet du disque, chaque élément de l'objet a été successivement éclairé suivant un ordre déterminé. Après réflexion sur l'objet, le spot lumineux est dirigé sur une cellule au sélénium, de sorte que les blancs et les dégradés de l'objet sont convertis en un courant d'intensité variable. Les tentatives de Nipkow pour retraduire le

courant électrique en images au moyen d'un disque synchronisé, ne réussirent jamais tout à fait et ce ne fut là que le premier d'une grande série de systèmes mécaniques de télévision qui ne dépassèrent jamais le stade expérimental.

En 1889, le professeur Weiller remplaça le disque de Nipkow par un tambour rotatif recouvert d'une quantité de petits miroirs qui réfléchissaient l'image en direction d'un écran de sélénium. En 1907, le professeur Boris Rosing, de l'Institut technique de Saint-Pétersbourg, utilisa des tambours à miroirs en même temps qu'un tube de Braun (voir page 73) dans lequel il avait introduit un écran composé de cellules photo-électriques. Avec ce système, il réussit à obtenir quelques images falotes. Notons en passant que Vladimir Zworykin est un des élèves de Rosing.

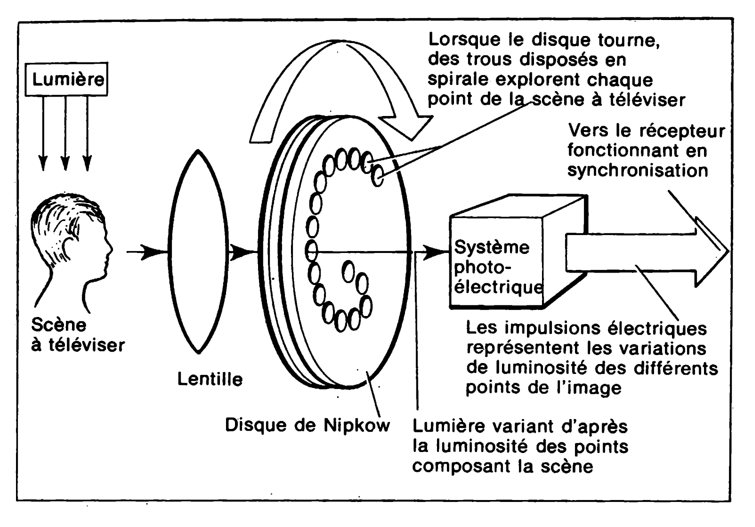
La télévision électronique

Quoiqu'il fût possible de transmettre et de recevoir des images grossières au moyen de systèmes mécaniques d'exploration, ceux-ci se révélèrent en pratique inadaptés pour la télévision. Pour que l'on puisse reconnaître une image comportant suffisamment de détails, on doit en transmettre 100 000 éléments au moins 20 fois par seconde. Pour cela, les systèmes mécaniques ne fonctionnent pas de manière satisfaisante ou, en tous cas, ils sont difficiles à synchroniser avec précision à une telle cadence. Dès 1908, l'expérimentateur britannique A.A. Campbell-Swinton avait suggéré que l'on pourrait utiliser des tubes électroniques pour l'exploration de l'image. Toutefois, cette idée ne porta ses fruits que vingt ans plus tard, lorsque Zworykin inventa l'iconoscope (voir page 77) tandis que entre-temps, des systèmes mécaniques d'une grande ingéniosité étaient mis au point en Amérique par H.E. Ives aux laboratoires de la Bell Telephone, et en Angleterre par J.L. Baird. La première démonstration publique d'un système de télévision employant un système mécanique fut donnée en 1925 par Baird, en Grande-Bretagne et par Charles Jenkins, aux Etats-Unis. L'image comptait un nombre de lignes variant entre 30 et 60. (Il est bon de se rappeler qu'aucun des systèmes de télévision actuellement en usage dans le monde ne comporte

moins de 400 lignes. En conséquence, le lecteur imaginera aisément combien les images de Baird étaient grossières.) Baird lui-même finit par se convertir aux systèmes d'exploration électronique après des années d'expérimentation sur des systèmes mécaniques (voir fig. 40).

Le premier programme expérimental de télévision au monde fut inauguré en Grande-Bretagne par la B.B.C. en 1929. Le système adopté était le système d'exploration mécanique de Baird. Le problème principal, une fois que la piètre qualité des images fut admise et tolérée, était celui de la largeur de bande. La gamme des fréquences occupée par des signaux donnés a une largeur proportionnelle à la quantité d'informations que ces signaux contiennent. Dans le cas d'un signal de télévision, la largeur de bande est proportionnelle au nombre de lignes dans lesquelles l'image a été divisée et au nombre d'images présentées par seconde. A l'époque, la B.B.C. fut obligée de transmettre sur une longueur d'onde de 261 mètres (soit un peu plus de 1 mégacycle par seconde). Elle ne transmettait que 12 images par seconde. Les émissions étaient diffusées 1/2 heure par jour et cinq jours par semaine. Une fois la première curiosité passée, le public s'intéressa très peu à ces émissions et les récepteurs Baird se vendirent médiocrement quoique leurs prix fussent tombés de 120 dollars en 1929 à environ 60 dollars en 1931. Seule une très petite proportion des milliers d'amateurs qui avaient aidé à mettre au point et à perfectionner les techniques d'émission et de réception radio, s'intéressèrent à la télévision.

Après l'invention de l'iconoscope et du « dissector d'image », la plupart des ingénieurs travaillant sur la télévision furent bientôt convaincus de la supériorité des méthodes électroniques. En Grande-Bretagne, la sortie de la caméra Emitron, basée sur le principe de l'iconoscope, marqua un pas décisif dans l'amélioration de la T.V. En novembre 1936, la B.B.C. installa officiellement des studios et un émetteur de télévision à Alexandra Palace, en un des points les plus élevés au nord de Londres. Le système mécanique de Baird et le système électronique Marconi-Emi, y étaient alternativement utilisés. La même année, R.C.A. mit en service une station expérimentale de télévision au sommet de l'Empire State Building à New York, station qui employait un système découlant des travaux de Zworykin. Une équipe nombreuse d'ingénieurs fut engagée par R.C.A. pour perfectionner



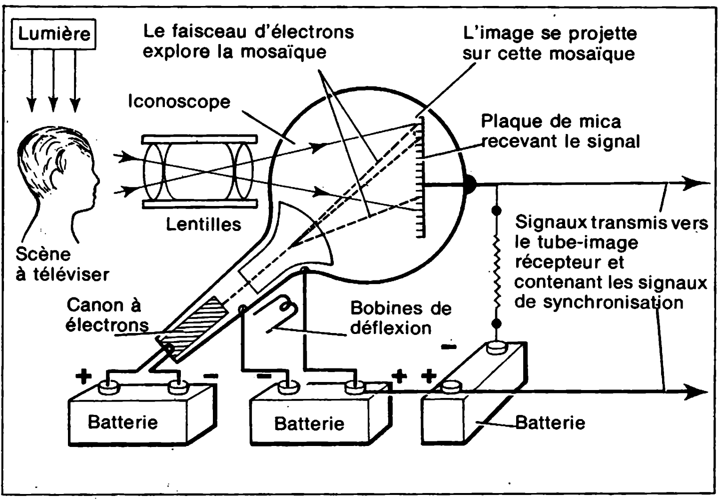


Figure 40. Comparaison des systèmes mécanique et électronique d'exploration de l'image.

l'iconoscope et les circuits employés dans les appareils de télévision. En 1937, en Grande-Bretagne, un comité d'experts se prononça en faveur du système électronique Marconi-Emi faisant usage des caméras Emitron et des récepteurs à tube cathodique. Dès lors, des programmes réguliers furent diffusés par la B.B.C. jusqu'à la déclaration de la guerre.

La plupart des problèmes techniques de base posés par l'émission d'images télévisées étaient résolus en 1940, mais le niveau de qualité des images qui était toléré alors nous semblerait inadmissible aujourd'hui. Les téléspectateurs d'avant-guerre, s'ils voulaient suivre les programmes de divertissement qui leur étaient offerts, étaient obligés de s'entasser devant une image de 15 cm de diagonale, dans l'obscurité complète. Des « incidents techniques » intervenant dans les stations d'émission ou dans les studios provoquaient de fréquentes interruptions de programme et en outre, les récepteurs étaient à la fois coûteux et facilement sujets aux pannes. Cependant, la fascination de ce nouveau moyen de communication était telle que, bien qu'il fût d'abord réservé à la diffusion de programmes superficiels et parfois puérils, une demande régulièrement croissante de récepteurs se fit jour dans la région de Londres, demande qui cessa brutalement avec la guerre.

L'histoire de la télévision diffère fortement de celle de la radio. La radio fut d'abord conçue essentiellement comme un strict moyen de communication privé et elle joua pleinement ce rôle avant que ne devienne populaire son utilisation comme moyen de diffusion collective livrant des divertissements à domicile. La télévision, considérée comme moyen de distraction de masse, se répandit rapidement. Par contre, ce ne fut que beaucoup plus tard que l'on songea à l'utiliser comme moyen pour établir des communications privées. C'est ainsi que, pour l'avenir, on nous annonce le vidéo-téléphone ou téléphone-télévision qui nous permettra de voir notre interlocuteur en même temps que nous l'entendrons. Plusieurs systèmes ont déjà été expérimentés avec succès.

Pourquoi, contrairement à la radio, la T.V. se développa-t-elle d'abord comme moyen de communication de masse avant de devenir un moyen permettant les communications privées ? La raison est avant tout d'ordre technique : la largeur de bande. La radio demande une bande passante d'environ 5 kilocycles pour

transmettre convenablement la parole. Par contre, la télévision, elle, exige environ 5 mégacycles parce qu'elle doit transmettre 1 000 fois plus d'informations durant une période donnée. En conséquence, tandis que les communications radio peuvent être véhiculées par les réseaux téléphoniques ordinaires ou des lignes terrestres admettant une bande passante réduite, la télévision ne peut être transmise de cette façon et des techniques spéciales ont dû être mises au point pour établir un réseau T.V. transmettant uniquement du divertissement, réseau travaillant sur de très hautes fréquences qui ne pouvaient passer par le réseau de communications en usage auparavant. Rappelons que les ondes radio de très hautes fréquences ont tendance à se comporter

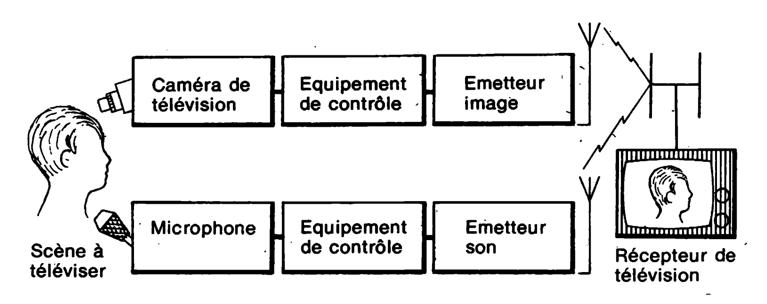


Figure 41. Les différentes parties d'un système de télévision.

comme des ondes lumineuses, de sorte que les antennes émettrices et réceptrices de télévision durent être conçues en tenant compte qu'aucun obstacle ne pouvait s'interposer entre elles. A cet égard, la B.B.C. possédait un avantage important en ce sens que, dans un rayon de 55 km autour d'Alexandra Palace, on comptait environ un quart de toute la population de l'Angleterre. La situation était très différente aux Etats-Unis, mais l'industrie américaine de la radio, spécialement la R.C.A., avait investi plusieurs millions de dollars en tenant compte des perspectives commerciales qu'offrait la télévision considérée comme moyen de divertissement. L'industrie américaine de la radio consentit un effort considérable pour ériger une chaîne de relais micro-ondes

et pour développer un réseau de câbles coaxiaux à large bande afin d'étendre au maximum la distribution des émissions de télévision à travers tous les Etats-Unis. Les ingénieurs de l'American Telephone and Telegraph avaient fabriqué un câble coaxial pouvant transiter plusieurs centaines de communications téléphoniques à la fois, et ce type de câble fut employé en 1947 pour transmettre des programmes de télévision entre New York, Philadelphie et Washington. Mais ce procédé revient fort cher et la plupart des programmes de télévision passent par des réseaux micro-ondes. Des antennes directionnelles et des amplificateurs furent installés sur des mâts échelonnés tous les 30 km, mâts placés à des endroits suffisamment élevés pour qu'aucun obstacle ne s'interpose entre eux.

Si la guerre interrompit l'expansion de la télévision durant cinq ans, elle eut le mérite de provoquer d'intenses recherches en matière d'électronique, et de fournir une expérience pratique qui permirent de perfectionner les techniques de la télévision. Le fait que l'on ait attelé, durant la guerre, les meilleurs cerveaux de Grande-Bretagne et des Etats-Unis à la mise au point du radar, avait permis d'arriver à la fabrication de circuits très perfectionnés et d'amplificateurs capables de produire de très hautes fréquences. En outre, des composants et des lampes miniatures de qualité furent élaborés. Les téléviseurs d'après la guerre profitèrent de ces améliorations. Le travail considérable entrepris pour perfectionner les écrans radar amena des innovations marquantes dont profitent les tubes à rayons cathodiques modernes : utilisation de meilleurs phosphores pour accroître la brillance de l'écran et techniques nouvelles pour assembler les électrodes du tube cathodique qui permirent d'en accroître la sensibilité, d'améliorer la concentration ainsi que la vitesse de réponse. Les circuits d'un sytème radar qui engendrent les impulsions et ceux mesurant le temps écoulé entre le départ de l'onde directe et l'arrivée de l'onde réfléchie, doivent être soigneusement conçus et les mesures qu'ils fournissent, très précises. C'est d'eux que dépend la précision d'un repérage par radar. Aussi furent-ils étudiés de manière complète et expérimentés avec la plus grande rigueur, ce qui permit d'acquérir les connaissances nécessaires à la réalisation des circuits de synchronisation utilisés dans les systèmes de télévision actuels. Les caméras et l'équipement de studio, tout comme les installations émettrices, ont fait moins de pro-

grès durant la guerre, mais la croissance de l'industrie électronique et les développements de l'électronique d'après-guerre (décrits au chapitre 3) ont permis de rattraper largement le temps perdu.

La diffusion de la télévision

Dans les vingt années qui suivirent la fin de la seconde guerre mondiale, le rythme d'expansion de la télévision dépassa même celui du cinéma. La télévision existe aujourd'hui dans plus de 135 pays. Les immenses tours de télévision — les tours les plus hautes du monde — élèvent leurs antennes dans le ciel, au-dessus des villes, des montagnes, des forêts et des plaines. Merveilles de la technique moderne, elles apparaissent comme les sentinelles de l'âge électronique, vibrant sous le vent, diffusant des ondes invisibles qui transportent des images et des sons, échos du monde. Il y a aujourd'hui, dans le monde, plus de 11 000 émetteurs de T.V. dont les émissions peuvent être reçues par plus de 222 millions de récepteurs de télévision, mais leur nombre s'accroît au rythme de plus de 15 millions par an (il est intéressant de noter que, à la fois le total et le rythme d'augmentation du nombre de téléviseurs dans le monde, se rapprochent très fort des chiffres relatifs aux abonnés du téléphone).

La plus grande concentration de téléviseurs se trouve évidemment aux Etats-Unis où l'on compte un récepteur pour 2,6 habitants (84 millions de récepteurs). Au Japon (24 millions) en Grande-Bretagne (14,6 millions) et au Canada (6,2 millions) l'on compte un récepteur pour 4 habitants. Dans ces pays, pratiquement chaque famille dispose d'un téléviseur ou peut facilement y avoir accès et bientôt les pays d'Europe occidentale atteindront la même situation. L'U.R.S.S., avec plus de 27,5 millions de récepteurs (soit un pour 7 habitants) accélère son rythme de production : plus de 3 millions de téléviseurs sont fabriqués chaque année. L'Allemagne compte 13,7 millions de récepteurs (un pour 7 habitants) ; la France : 7,7 millions (un pour 7 habitants également) ; l'Italie : 7,3 millions (aussi un pour 7 habitants). La Belgique, quant à elle, compte 1,9 millions de téléviseurs (un

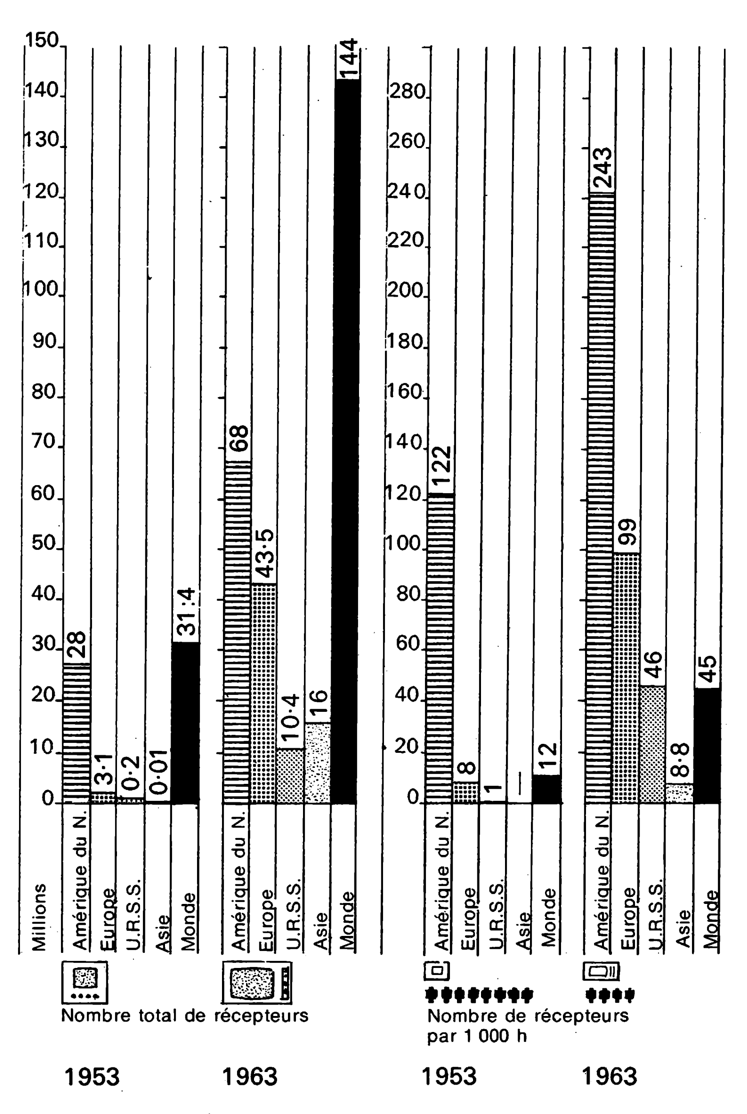


Figure 42. Augmentation du nombre de récepteurs de télévision et du nombre de téléviseurs par 1 000 habitants pour la période 1953-1963.

pour 5 habitants). Notons que la Principauté de Monaco détient le record mondial de la densité puisqu'elle parvient à compter 15 000 téléviseurs pour seulement 20 000 habitants !

Le tableau de la figure 42 montre l'augmentation du nombre de récepteurs TV ainsi que du nombre de téléviseurs par 1 000 habitants de 1953 à 1963, période exemplaire qui marque le début de l'expansion de la télévision en Europe. Depuis, cette tendance n'a fait que s'accentuer et, en 1967, le nombre de récepteurs TV dépassait déjà, nous venons de le voir, 84 millions pour les Etats-Unis, 68 pour l'Europe, 27,5 pour l'U.R.S.S., 27 pour l'Asie (dont 24 pour le Japon !) et 222 millions pour le monde entier.

Si l'on totalise l'audience potentielle de toutes les chaînes du monde entier, on atteint aisément 600 millions de téléspectateurs (les statisticiens comptent 3 téléspectateurs en moyenne par récepteur). Si un système mondial de satellites est établi selon les plans prévus et si l'on parvient à établir une coopération à l'échelle mondiale, il sera possible, peut-être à partir de 1975, d'atteindre plus d'un milliard de gens de tous pays — soit un tiers de l'humanité — immense foule de téléspectateurs qui pourront ainsi voir simultanément un même événement quel que soit l'endroit où il se déroule. Beaucoup de lecteurs considéreront sans doute cette perspective avec consternation plutôt qu'avec satisfaction, mais ils se consoleront peut-être en apprenant qu'il existe encore de vastes territoires en Asie et en Afrique où l'on ne peut capter aucune chaîne de télévision. Suivant les estimations les plus récentes (1968), la Chine continentale ne compte que 1,2 million de récepteurs de télévision malgré sa formidable population, quoique le pays où l'on compte le plus grand nombre d'entrées de cinéma chaque année soit la Chine et je ne doute nullement que ce pays recèle potentiellement la plus vaste audience T.V. qui soit au monde. Pour celui qui déteste la télévision, le pays idéal pour le moment est l'Inde où l'on compte seulement quelques milliers de récepteurs. Mais, comme nous l'avons vu, l'Unesco a élaboré un projet-pilote pour l'Inde où les émissions éducatives diffusées par un satellite, dès 1972, seront reçues au départ par 50 000 récepteurs communautaires. Et l'on prévoit pour l'avenir un parc de 10 millions de téléviseurs ! Vraiment, ceux qui cherchent à échapper à la télévision n'y réussiront pas ; on n'échappe pas à la marche inexorable du progrès. Déjà l'on vend des téléviseurs portables, utilisant des

transistors au lieu de lampes. Le dernier obstacle technique à franchir est la mise au point d'un écran « solide » qui remplacerait le tube à rayons cathodiques ou, au moins en attendant, un modèle de tube-image consommant très peu de courant. Une fois que le récepteur de télévision ne devra plus être relié obligatoirement au secteur parce qu'il pourra fonctionner sur des piles ayant une longévité raisonnable, les antennes de T.V. vont pousser dans les parties sous-développées du globe où il n'existe encore aucun réseau électrique.

La télévision en couleurs

Si la T.V. n'existait pas et que nous songions à inventer nous-mêmes un moyen pour transmettre des images à distance, nous imaginerions évidemment que ces images soient reproduites avec leurs couleurs naturelles. Il ne nous viendrait jamais à l'esprit d'inventer la T.V. en noir et blanc. Le fait est que la télévision monochrome constitue une terrible simplification : elle ne donne qu'un pâle reflet de la réalité.

Voyons comment les choses se passent — du point de vue du physicien — dans un studio de T.V. : un projecteur émet une lumière blanche (composée de rayons lumineux de toutes les couleurs de l'arc-en-ciel). Examinons le cas où ce rayon vient frapper un objet déterminé. Si cet objet est de couleur blanche, il réfléchit la quasi totalité de la lumière qui lui est envoyée. Une partie de cette lumière réfléchie est captée par la caméra de T.V. qui la transmet au récepteur, le signal en résultant atteignant dans ce cas le maximum d'amplitude. Si, par contre, le rayon lumineux provenant de notre projecteur vient frapper un objet noir, celui-ci l'absorbe totalement et la caméra reproduit un objet noir, le signal n'atteignant dans ce cas que son niveau minimum. Si maintenant, l'objet à téléviser est à la fois noir, blanc et gris, la caméra produira une combinaison de signaux, comportant des maxima, des minima, les gris étant reproduits grâce à des signaux d'amplitude intermédiaire.

Où l'exercice se complique, c'est lorsque nous mettons en scène un objet coloré, un objet rouge, par exemple. Eclairé par le

projecteur de lumière blanche, cet objet ne réfléchit que la composante rouge du faisceau lumineux, absorbant les rayons de toutes les autres couleurs. L'image rouge qui vient frapper l'œil de la caméra possède donc deux caractéristiques principales : sa couleur (rouge) et son intensité lumineuse (une fraction de l'intensité de la lumière blanche ayant frappé l'objet). Si notre caméra est conçue seulement pour retransmettre le noir et le blanc, elle ne retransmettra que l'intensité lumineuse (luminance) mais restera insensible à la couleur (chrominance). Si donc nous voulons également transmettre les informations « couleurs », il nous faut recourir à un système de télévision plus perfectionné qui soit aussi sensible à la couleur. Heureusement, la physique nous apprend que, pour reproduire une image colorée, il n'est pas nécessaire d'en transmettre toutes les couleurs : trois suffisent. En effet, en mélangeant dans des proportions convenables 3 couleurs fondamentales (En T.V.C. : rouge, vert et bleu), on peut reproduire toutes les couleurs de l'arc-en-ciel. Donc, en principe, tous les systèmes de télévision en couleurs tenteront à l'émission de décomposer par un moyen ou l'autre l'image de la scène à téléviser en 3 images correspondant chacune à l'une des 3 couleurs fondamentales. A la réception, ces 3 images seront mélangées pour reproduire la scène originale avec toutes ses couleurs.

L'idée de reproduire des images en couleurs est évidemment aussi vieille que la T.V. elle-même. Déjà en 1928, Baird avait mis au point un système de T.V. en couleurs en utilisant un disque de Nipkow dont les trous étaient dotés d'un filtre coloré (successivement rouge, vert et bleu). Mais les premiers systèmes modernes de télévision en couleurs ne virent le jour en laboratoire qu'en 1940 et, bien sûr, aux Etats-Unis. Ce ne fut qu'en 1949 que la compagnie américaine C.B.S. (Columbia Broadcasting System) rendit publique la nouvelle annonçant qu'elle avait mis au point un système de T.V. en couleurs.

L'année suivante, la compagnie concurrente N.B.C. (dépendant de R.C.A.) présenta à son tour son propre système. Et une mémorable bataille s'engagea entre la N.B.C. et la C.B.S., avec pour arbitre la Federal Communications Commission. Assez curieusement, on assista à un nouveau match : système mécanique contre système électronique. En effet, le système C.B.S. consistait essentiellement à faire défiler devant l'objectif d'une

caméra de T.V. noir et blanc, un disque composé de segments colorés, successivement rouge, vert et bleu. Ainsi, lorsque le filtre rouge s'interposait entre la scène à téléviser et la caméra, celle-ci transmettait l'image rouge. De même, au segment suivant, de couleur verte, était transmise l'image verte, puis l'image bleue. Après quoi le cycle recommençait. A la réception, un disque semblable interposait successivement un filtre rouge, vert, bleu, entre l'image noir et blanc apparaissant sur l'écran et l'œil du téléspectateur. Il suffisait de faire tourner le disque du récepteur en synchronisme avec celui de l'émetteur pour que les images rouges, vertes et bleues se succèdent à la cadence de 30 à la seconde, reproduisant ainsi la scène en couleurs. Pour l'usager, le principal inconvénient de ce système est que, s'il possède un écran de 53 cm de diagonale, le disque devrait avoir un diamètre prohibitif. Un disque de 2 mètres de diamètre n'est pas très élégant dans un salon. Le système N.B.C. a, quant à lui, recourt à des moyens 100 pour 100 électroniques. La caméra est équipée d'un tube électronique de prise de vues qui en contient en réalité l'équivalent de trois ; un pour chacune des couleurs fondamentales. Ce tube trichrome est doté, entre autres, de trois canons à électrons. La face du tube est recouverte d'une mosaïque de petites cellules sensibles à la lumière. Mais, à la différence du noir et du blanc, il en existe trois réseaux différents, chacun étant sensible à l'une des couleurs fondamentales et étant desservi par un des canons à électrons. Il suffit donc de retransmettre successivement les 3 images correspondant aux 3 couleurs fondamentales pour permettre au tube récepteur (lui-même trichrome et doté de 3 canons) de reproduire la scène en couleurs.

Le principe du sytème N.B.C. tel que nous venons de le décrire est, en gros, le principe de base de tous les systèmes électroniques de T.V. en couleurs. En pratique, pour être mis en exploitation, un système de T.V. en couleurs doit être *compatible*. Qu'est-ce que cela veut dire ? Dans un système compatible de T.V.C. (télévision en couleurs), la compatibilité exige d'une part que les émissions diffusées en couleurs puissent être captées, sans modification, par les téléviseurs noir et blanc, en noir et blanc évidemment. D'autre part, il faut que les téléviseurs en couleurs puissent capter également les émissions diffusées en noir et blanc, sinon tout acheteur d'un téléviseur-couleurs serait condamné à garder, à côté, son ancien téléviseur en noir et blanc.

Aussi, pour être compatibles, les systèmes de T.V.C. actuellement en exploitation à travers le monde transmettent-ils une image en noir et blanc, plus des signaux de couleurs. Pour une raison d'économie, on ne transmet que deux signaux de couleurs, le troisième est obtenu par soustraction : puisque l'image en noir et blanc représente la somme des intensités lumineuses des 3 images-couleurs (luminance), quand on en retire la somme des intensités de 2 images-couleurs, on retrouve l'intensité de la troisième.

En théorie, comme on retransmet trois images — donc une information trois fois plus riche — le signal devrait avoir une bande passante trois fois plus large. Mais l'on a été contraint à rejeter cette facilité, car on ne peut tolérer que l'image en couleurs occupe une largeur de bande plus grande que l'image monochrome ; en effet, d'une part cela engendrerait un encombrement inadmissible des ondes et, d'autre part, rendrait le système non compatible (car émetteurs et récepteurs doivent pouvoir, sans changement, traiter alternativement des images monochromes et des images couleurs). Heureusement, l'expérience a prouvé que l'œil n'est pas, en matière de couleurs, aussi exigeant que dans le cas du noir et blanc. Il tolère très bien une information couleurs assez grossière, ce qui a permis de réduire considérablement la largeur de bande des signaux couleurs. Les techniciens sont parvenus à caser les signaux couleurs entre la transmission des lignes de l'image noir et blanc.

En 1954, la F.C.C. opta définitivement pour le système N.B.C. qui devint alors le fameux système connu sous le nom de N.T.S.C. (National Television System Committee). Le système fonctionne honorablement mais révèle certains défauts sur lesquels nous reviendrons.

La T.V. en couleurs est aujourd'hui largement répandue aux Etats-Unis bien que le démarrage ait été très lent. Les premières années, très peu de téléviseurs se vendirent. Ce n'est qu'en 1962 et en 1963 que les ventes se mirent à grimper. Cette augmentation suivit celle du nombre d'heures des programmes transmis en couleurs. Aujourd'hui, la T.V. en couleurs est largement répandue aux Etats-Unis. Bientôt, le N.T.S.C. fut adopté par le Japon (en 1960), le Canada (1967) et puis le Mexique (1968).

Comme je l'ai déjà souligné, le système N.T.S.C. est affligé de certains défauts dont le plus criard est la *distortion de phase.* Lorsque le studio de prise de vues est relié directement à

l'émetteur, il n'y a pas de problème. Mais, lorsque le signal doit être retransmis sur de très longues distances, par des relais micro-ondes par exemple, une distortion de phase s'introduit qui a pour effet de fausser les couleurs. Quand, à la fin des années 1950, les pays d'Europe commencèrent à étudier la question de l'introduction de la T.V.C., la technique n'avait cessé de progresser. Aussi, songèrent-ils à en profiter pour mettre au point un système plus perfectionné. Des recherches furent entreprises de tous côtés. Je vous fais grâce de tous les systèmes et variantes de systèmes qui furent proposés. Deux systèmes finirent par émerger du lot : le système français SECAM et le système allemand PAL.

Le système SECAM (Système SEQuentiel A Mémoire) fut inventé par Henri de France, un Français comme son nom l'indique, travaillant dans le cadre de la Compagnie Française de Télévision. Dans ce système, dont la première version sortit en 1957, les deux signaux couleurs sont modulés en fréquence, ce qui les met à l'abri des parasites. En outre, par souci de simplification, au lieu d'être transmis simultanément, les deux signaux de chrominance sont transmis successivement. Cependant, ces deux signaux doivent retrouver leur simultanéité à la réception. Aussi, le premier signal est-il mis en mémoire tandis qu'est transmis le second. Cette mémoire est constituée tout simplement d'un barreau d'acier le long duquel est retardé le signal. La longueur de cette « ligne à retard » est calculée en fonction du retard que l'on veut donner au signal, et qui équivaut à la durée de balayage d'une ligne de l'image.

De son côté, le Dr Walter Bruch, un Allemand travaillant pour la firme d'Outre-Rhin Telefunken, tenta de combiner le N.T.S.C. et le SECAM. Il finit par aboutir à un système original : le PAL (Phase Alternative System). Dans ce système, les signaux de chrominance portant la couleur sont transmis simultanément comme dans le N.T.S.C. mais ligne par ligne, la phase d'une des composantes est inversée, de sorte que les erreurs de teintes dues aux variations de phase varient en sens opposé et donc se compensent.

Du PAL ou du SECAM, du système allemand ou du système français, lequel est le meilleur ? Force est de reconnaître que dans les conditions ordinaires, ils se valent. On peut donner un léger avantage au SECAM lorsque l'image est retransmise par des

relais hertziens sur de très longues distances ou pour la facilité qu'il offre lors de l'enregistrement sur magnétoscope. Par contre, le PAL convient mieux dans les pays accidentés où des « échos » (c'est-à-dire des réflexions arrivant à l'antenne du récepteur après le signal principal) sont à craindre.

Toujours est-il que les pays d'Europe furent placés devant l'obligation de choisir entre le N.T.S.C., le PAL et le SECAM. C'est pourquoi l'U.E.R. (Union Européenne de Radiodiffusion), après de très longues études comparatives, convoqua une grande conférence internationale à Vienne, en mars 1965. Deux cents experts représentant 32 pays (dont des pays non européens, membres de l'U.E.R.) durent faire un choix, choix appelé à avoir non seulement une importance commerciale considérable mais qui touchait au prestige national des Etats-Unis, de l'Allemagne et de la France. Deux jours avant l'ouverture de la conférence, la France rendit public un accord aux termes duquel la France et l'U.R.S.S. tombaient d'accord sur l'exploitation en commun du SECAM. Coup de théâtre qui ne manqua pas d'exercer une influence durant la Conférence. Un premier sondage répartit les 35 voix comme ceci : 15 au SECAM ; 10 pour le N.T.S.C. et 6 pour le PAL, plus 4 abstentions. Pour tâcher d'aboutir à une solution, on imagina sur place un système bâtard, issu de l'union du N.T.S.C. et du PAL : le QUAM. Un nouveau vote eut lieu. Vingt et un pays optèrent pour le SECAM, dix-huit pour le QUAM et les autres s'abstinrent. Finalement, la Conférence se clôtura sans qu'aucune décision définitive soit prise. On décida de se retrouver l'année suivante à Oslo.

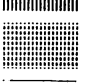
Mais le QUAM n'était qu'une échappatoire, pour ne pas dire une fumisterie. A Oslo, en juillet 1966, se retrouvèrent face à face N.T.S.C., PAL et SECAM. Cette Conférence consomma le schisme. Si le N.T.S.C. fut unanimement rejeté, l'Europe se divisa en pays Secamistes et en pays Palistes. La France, l'U.R.S.S. et ses satellites, le Luxembourg et Monaco optèrent définitivement pour le SECAM tandis que l'Allemagne, la Hollande, la Suisse, la Grande-Bretagne, l'Italie, les Pays Scandinaves... choisirent le PAL (voir la carte).

Opter pour un système, c'était bien. Restait à passer aux actes, c'est-à-dire commencer à émettre régulièrement un programme en couleurs. Cette fois encore, la Grande-Bretagne fut la première. Le 7 juillet 1967, à l'occasion des championnats de tennis de

L'Europe de la TV-couleurs : à la fin de l'année 1969, la répartition entre les deux systèmes Pal *et* Secam, *est la suivante, les renseignements concernant les pays de l'Europe de l'Est n'étant toutefois qu'officieux :*



système Pal en exploitation régulière :
Allemagne de l'Ouest, Autriche, Pays-Bas, Royaume-Unis, Suisse.



système Pal en service expérimental ou projeté :
Belgique, Danemark, Finlande, Irlande, Norvège, Suède.



système Secam en exploitation régulière :
Allemagne de l'Est, France, U.R.S.S.

pas de décision :
Espagne, Grèce, Hongrie, Italie, Luxembourg, Portugal, Roumanie, Tchécoslovaquie, Turquie, Yougoslavie.

(renseignements communiqués par l'Union Européenne de Radiodiffusion).

Wimbledon, la B.B.C. lança sur sa deuxième chaîne la première émission d'un programme officiel en couleurs. Bientôt, l'Allemagne suivit (25 août), ainsi que la France (1er octobre), puis l'Union Soviétique en octobre toujours (à l'occasion du cinquantième anniversaire de la Révolution russe). Ce fut ensuite le tour des Pays-Bas (1er janvier 1968) et de la Suisse (1er octobre 1968).

Il est trop tôt encore pour tracer un historique du lancement de la T.V. en couleurs en Europe. Il est certain que les Jeux Olympiques de Grenoble (février 1968) puis les Jeux de Mexico (octobre 1968) furent des événements qui mirent en vedette la T.V.C. et poussèrent la vente des récepteurs couleurs. Mais un facteur économique freine considérablement l'expansion de la T.V.C. en Europe : le prix des téléviseurs couleurs qui est quatre fois celui des récepteurs en noir et blanc. Etant donné que ceux-ci peuvent capter les émissions couleurs en noir et blanc (s'ils sont équipés pour recevoir la deuxième chaîne), on peut se demander si le jeu en vaut la chandelle, si c'est la peine de dépenser une telle somme simplement pour obtenir en supplément l'information couleurs. La suite des événements dépendra à la fois de la diminution du coût des récepteurs et de l'augmentation du nombre d'heures de programmes couleurs (la Belgique, par exemple, qui a fini par adopter le PAL, ne commencera sans doute pas ses émissions couleurs avant 1971 ; il n'est donc pas question d'envisager une vente massive avant cette date.) A côté de l'attrait indiscutable de la couleur, il est indubitable que le snobisme, la pression sociale vont jouer un rôle. Nous finirons tous par avoir la télévision en couleurs, la question est de savoir si ce sera ce soir ou dans vingt ans.

Un des obstacles rencontrés sur la route de la T.V.C. était évidemment la différence des systèmes : N.T.S.C., PAL et SECAM. Je dis « était », car les techniciens n'ont pas tardé à mettre au point des « transcodeurs » qui transforment l'image d'un système en un autre. En passant une frontière, l'image SECAM est traduite en PAL ou inversement.

La B.B.C. a mis au point un transcodeur N.T.S.C.-PAL qui fonctionne parfaitement comme l'ont prouvé les images des Jeux Olympiques de Mexico relayées par satellite. En définitive, les dindons de la farce sont les téléspectateurs qui ont la chance d'habiter une région où l'on peut recevoir des émissions en PAL et d'autres en SECAM. Ils doivent soit acheter un téléviseur bisystème

qui coûte encore un peu plus cher que les autres, ou bien acheter un récepteur monosystème et l'équiper d'un transcodeur.

Moralité : faute d'avoir réussi à se mettre d'accord, les pays d'Europe ont compliqué la vie à tout le monde, sans que personne — sinon les promoteurs des systèmes retenus — puisse en retirer des avantages. Cela montre comment l'Europe — fût-elle de la T.V.C. — est difficile à bâtir.

La technique moderne de la télévision

Quoique aujourd'hui, le divertissement et la publicité envahissent les écrans de télévision la majeure partie du temps (et ceci constitue un sujet de discussion qui sera abordé dans un autre chapitre), nous commençons à peine à découvrir ce que représente la puissance fantastique de ce nouveau moyen que l'on a baptisé la « télévision industrielle » et qui est utilisé pour répandre l'information ou aider la recherche scientifique. Il est également utilisé en politique, en médecine, en sport, pour l'exploration spatiale tout comme il est mis à contribution dans les écoles, les usines, les magasins, sur les routes... bref, dans pratiquement tous les domaines de l'activité humaine. Car la télévision étend et multiplie d'une manière fantastique les possibilités de l'œil humain : elle l'affranchit du temps et de l'espace, elle perçoit des ondes invisibles à l'œil humain (comme les ondes infrarouges). En outre, elle est plus sensible que notre œil, et a un meilleur rendement. Evidemment, il a fallu de nombreuses recherches dans le domaine de l'électronique avant que la télévision ne puisse accomplir les remarquables performances dont elle est capable aujourd'hui.

L'invention de l'iconoscope par Zworykin et du « dissector d'image » par Farnsworth dans les années 1920, déclenchèrent une longue série de recherches sur les tubes pour caméras T.V. En Angleterre, une équipe de recherches EMI, conduite par Schoenberg et Blumlein, inventa un tube pour caméra amélioré, l'Emitron, qui fut breveté en 1932, et qui succéda à l'iconoscope. La compagnie Marconi-Emi, formée en 1934, cumula l'expérience acquise par la Compagnie Marconi en matière de transmission

sur ondes courtes d'images par fac-similé et celle acquise par EMI avec l'Emitron. Les premières émissions de télévision (qui démarrèrent en 1936 comme il a été dit plus haut) poussèrent à améliorer les techniques de fabrication de l'iconoscope et de l'Emitron, tout comme celles employées pour l'émission et la réception d'images haute-définition (au-delà de 500 lignes), indispensables pour assurer le succès commercial de la télévision.

Juste avant la guerre, l'ortho-iconoscope, ou orthicon, fut mis au point. Il réussit à vaincre les effets de l'émission secondaire d'électrons à l'intérieur de l'iconoscope. En outre, son rendement était nettement supérieur à celui de ses prédécesseurs. A la même époque, les ingénieurs de la R.C.A. mirent au point le tube image orthicon, lequel combinait certaines caractéristiques de l'orthicon, du dissector d'image, et du multiplicateur d'électrons, de manière à donner un tube de caméra de 100 à 1 000 fois plus sensible que l'orthicon. Ce tube était si sensible, que, le premier, il put être employé pour les reportages à l'extérieur sans qu'il fût nécessaire de recourir à un éclairage spécial. Le tube image orthicon fut adopté universellement dans les caméras de télévision utilisées pour transmettre des spectacles de divertissement et des reportages en direct. Les amplificateurs et les circuits des caméras de télévision subirent de fortes améliorations à partir de 1950 et l'introduction de transistors et d'autres composants solides les rendirent plus compacts, plus légers et leur assurèrent un meilleur rendement. La caméra moderne, équipée d'un tube image orthicon, n'est pas seulement des milliers de fois plus sensible que celles équipées des premiers iconoscopes, mais elle est en outre beaucoup plus petite, beaucoup plus facile à manier et est volontiers adoptée lorsqu'on établit les plans d'un système de prise de vues automatique destiné à équiper un studio de télévision ou ceux d'un car de captation.

Le progrès le plus important accompli en la matière au cours de la dernière décade a été l'invention et la mise au point du vidicon (voir fig. 43). Le vidicon est un tube pour caméra T.V. dans lequel l'image optique est projetée sur une surface où sont accumulées des charges électriques dont la densité varie, surface constituée d'un photoconducteur de la famille des nouvelles matières semi-conductrices. Cette surface est alors balayée par un faisceau d'électrons dotés d'une faible vitesse, lequel convertit les charges en un courant d'intensité variable. Les physiciens et les

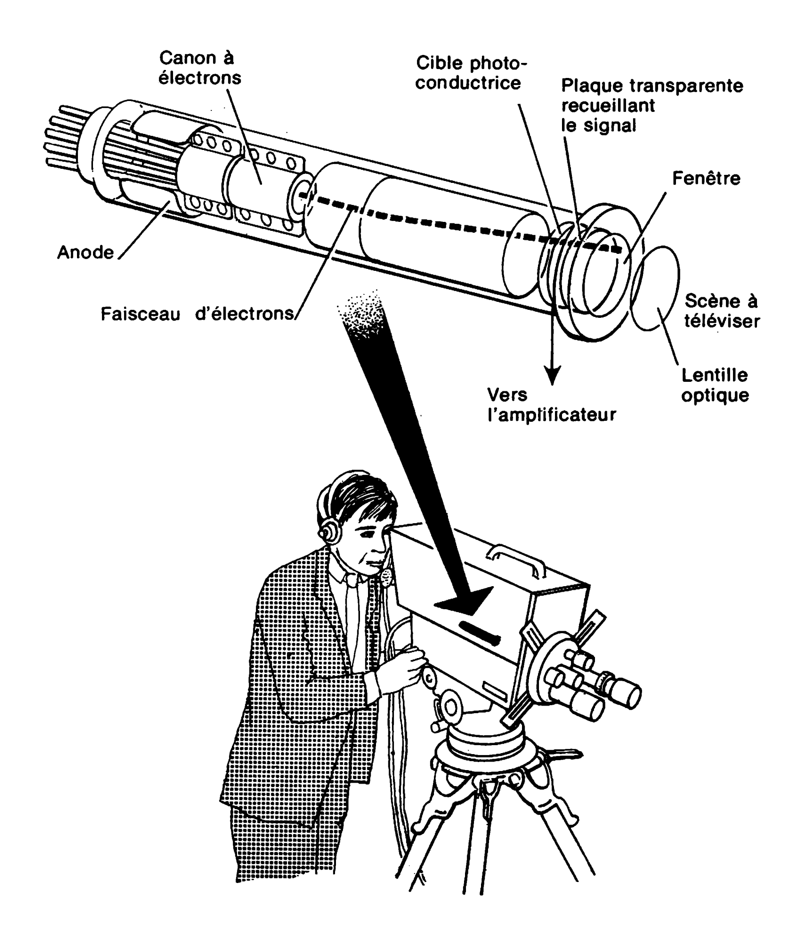


Figure 43. Schéma simplifié d'une caméra de prise de vues à tube vidicon.

ingénieurs spécialisés en télévision des Etats-Unis, de Grande-Bretagne, des Pays-Bas et d'Allemagne ont apporté de nombreux perfectionnements au vidicon ; ils en ont fait un tube de très petites dimensions, d'une haute sensibilité et très robuste. Associés aux techniques modernes de fabrication des circuits et des dispositifs solides, les tubes vidicon d'un diamètre de quelque

4 cm, rendent possible la construction de caméras de télévision pesant moins de 4,5 kg qui sont rendues complètement étanches et peuvent résister aux conditions atmosphériques les plus redoutables. Si l'on adjoint à de telles caméras d'excellents circuits de synchronisation et d'amplification ainsi que des dispositifs modernes de commande à distance et de réglage de l'objectif à focale variable, et si, en outre, on les utilise conjointement avec un enregistreur sur bande et un système de télémétrie, on dispose d'un œil universel, capable d'exploits extraordinaires. Cet œil nous a montré la face cachée de la Lune et les merveilleux gros plans de la surface lunaire envoyés vers la Terre par les sondes de la série Ranger. Il nous permet de voir les astronautes orbitant autour de la Terre ou de la Lune dans leur cabine Apollo et, grâce à lui, nous sommes avec eux lorsqu'ils débarquent sur la Lune. Dans un autre domaine, les ingénieurs de l'énergie nucléaire l'emploient pour surveiller l'intérieur du cœur radioactif d'un générateur nucléaire et cela, sans courir aucun risque. D'autres caméras leur permettent, sans quitter leur bureau, de superviser tout le système très complexe d'instruments répartis dans toute l'usine nucléaire. Cet œil électronique peut également être utilisé pour surveiller différents points du trafic routier à partir d'un poste central de commande. Ou encore, il peut être monté à bord de véhicules pour étudier l'état des routes. Il peut aller jeter un coup d'œil à notre place, derrière le pâté de maisons, ou dans les entrailles de la terre ou au sein de la mer.

La télévision en circuit fermé est un système dans lequel la caméra de télévision et le récepteur sont directement reliés l'un à l'autre au moyen d'un câble. La télévision en circuit fermé est maintenant aussi répandue dans l'industrie moderne et le commerce que le téléphone. Elle est utilisée par exemple, pour surveiller une mine, un supermarché ou une station de chemins de fer. Grâce à elle, dans les grands halls et dans les grands bâtiments, les contacts peuvent être améliorés et rendus plus intéressants ; les conférences qui y sont données, mieux suivies. Toutes les parties d'un immense paquebot peuvent être surveillées à tout instant depuis le pont ou depuis n'importe quel autre point d'observation. On peut maintenant construire, pour un prix dépassant à peine celui d'une bonne caméra de cinéma, une caméra miniature de télévision qui, reliée à un téléviseur ordinaire, permet de surveiller, depuis la salle de séjour, bébé qui

dort dans la chambre à coucher.

La gamme de fréquences que peuvent percevoir les caméras de télévision, s'étend de l'infrarouge à l'ultraviolet de sorte que les caméras peuvent voir dans l'obscurité ou reproduire des images qui seraient normalement invisibles ou bien qui feraient du tort à l'œil nu. Elles peuvent être dotées d'une « mémoire » dont la persistance est supérieure à celle de la rétine de l'œil, tout comme les tubes d'affichage peuvent être conçus pour retenir une image fugace plusieurs heures durant. Il existe quantité d'autres missions que peut encore remplir la télévision : retransmettre l'image prise aux rayons X ou transmettre des photographies ; donner l'image infrarouge d'un haut-fourneau ou surveiller le déroulement du processus continu de fabrication de l'acier. La projection sur grand écran de structures microscopiques rend possible l'observation à distance d'organismes microscopiques *in vivo*. Les caméras de T.V. permettent encore la photographie ultra-rapide et la photographie astronomique, etc.

Notons que certains systèmes de télévision en circuit fermé reproduisent les images en relief. Pour certains travaux, la vision en relief est d'une extrême importance, en particulier pour certaines opérations de télémanipulation.

D'autre part, aujourd'hui l'on voit se répandre de plus en plus des circuits fermés de télévision en couleurs. Il est indubitable que la couleur apporte une richesse d'information supplémentaire, qu'elle permet de discerner des détails minuscules qui auraient échappés en noir et blanc, qu'elle donne plus de « relief » à l'image. Inutile de s'apesántir longuement sur les avantages de la télévision en couleurs en ce qui concerne la retransmission d'opérations chirurgicales, ou pour la T.V. scolaire en circuit fermé (biologie, histoire de l'art, etc.) ou plus généralement pour toutes les retransmissions où la couleur joue un rôle prépondérant.

Chapitre 6

PLUS RAPIDE QUE LA PENSEE

La vie n'est-elle pas cent fois trop courte pour s'y ennuyer ?
Friedrich Nietzsche : *Jenseits von Gut und Böse.*

Les ordinateurs (aujourd'hui, l'adjectif électronique semble superflu) ont frappé l'imagination du public. Il est très facile d'en tirer des articles à sensation ; des expressions telles que « cerveaux électroniques » ont amené beaucoup de gens à les croire doués d'une puissance quasi magique, bien que leurs possibilités réelles aient été en fait sous-estimées. Bien qu'il faille beaucoup d'habileté, d'expérience et de capitaux pour construire et exploiter ces machines, il n'y a rien en elles qui soit mystérieux et les remarquables performances qu'elles accomplissent reposent sur des principes faciles à comprendre. Néanmoins, le traitement de l'information au moyen d'ordinateurs a créé une science nouvelle qui a été baptisée « informatique ».

Les ordinateurs sont des machines à résoudre les problèmes. Théoriquement, chacun des problèmes résolus par les ordinateurs pourrait tout aussi bien l'être par des calculateurs humains, mais les ordinateurs les résolvent beaucoup plus rapidement et jamais ils ne se lassent de ces tâches fastidieuses. Grâce à eux, les humains peuvent passer leur temps de façon plus agréable. Au XVIIe siècle, des machines à calculer mécaniques furent construites par Pascal et Leibnitz, mais la technique nécessaire à leur construction n'était pas encore assez avancée, aussi leur fonctionnement était-il aléatoire et leur rendement, mauvais. Les machines à calculer du XIXe siècle construites par Babbage marquèrent un grand progrès. Aujourd'hui, la machine à calculer mécanique moderne

a atteint un haut degré de perfection. Mais le meilleur et le plus rapide des calculateurs mécaniques ne peut atteindre un centième de la vitesse d'un ordinateur numérique moderne. C'est grâce à cette grande vitesse de fonctionnement, rendue possible par le recours aux techniques électroniques, que l'on a vu l'ordinateur se développer rapidement à la fin de la guerre. Il constituait le moyen de fournir rapidement des solutions aux problèmes posés par la conception tout comme par l'utilisation de l'équipement militaire. Par exemple, quoique pour calculer des systèmes mécaniques très bien au point étaient disponibles en 1940, ils n'étaient pas assez rapides pour résoudre des problèmes tels que le pointage d'un canon situé sur la plate-forme en mouvement d'un navire de guerre de façon à envoyer un obus capable d'abattre un avion rapide en plein vol. Le premier ordinateur numérique électronique qui fonctionna de manière satisfaisante fut construit en 1946 par la Moore School of Engineering de l'université de Pennsylvanie, pour résoudre des problèmes balistiques. Ce premier ordinateur s'appelle ENIAC (Electronic Numerical Integrator and Computer).

Comment travaillent les ordinateurs

Il y a deux types principaux d'ordinateurs électroniques : les ordinateurs analogiques et les ordinateurs numériques. Dans le premier type, les problèmes sont résolus par analogie : quand les problèmes comprennent des variables telles que des forces mécaniques, des vitesses, des mouvements de rotation, des déplacements, etc., celles-ci sont représentées très précisément dans l'ordinateur par des courants ou des tensions électriques variant progressivement, qui peuvent être manipulés avec beaucoup plus de facilité. On a tendance à utiliser les ordinateurs analogiques pour résoudre les problèmes scientifiques et techniques où une grande précision n'est pas exigée, mais où des réponses d'une précision limitée doivent être fournies avec rapidité. Une règle à calcul constitue un exemple simple d'ordinateur analogique : sur la règle, la longueur qui représente chaque nombre est proportionnelle au nombre que nous souhaitons

représenter, au lieu de représenter ces nombres eux-mêmes.

Dans les ordinateurs numériques, les problèmes sont résolus par comptage et l'on inclut dans cette catégorie d'ordinateurs les énormes et superpuissantes machines dont parlent les manchettes des journaux. Toutes les données concernant le problème à résoudre sont transformées en trains d'impulsions qui sont classées, enregistrées et comptées par l'ordinateur. Grâce aux dispositifs électroniques modernes, une simple opération de commutation se fait en quelques nanosecondes (une nanoseconde vaut un millième de millionième de seconde) de sorte qu'en convertissant les chiffres en une série d'impulsions très courtes, l'addition de nombres de 10 chiffres peut être menée à bien en une microseconde et la multiplication — qui n'est qu'une addition répétée des mêmes chiffres — en quelques secondes.

On compte 5 « unités » principales dans un ordinateur numé-

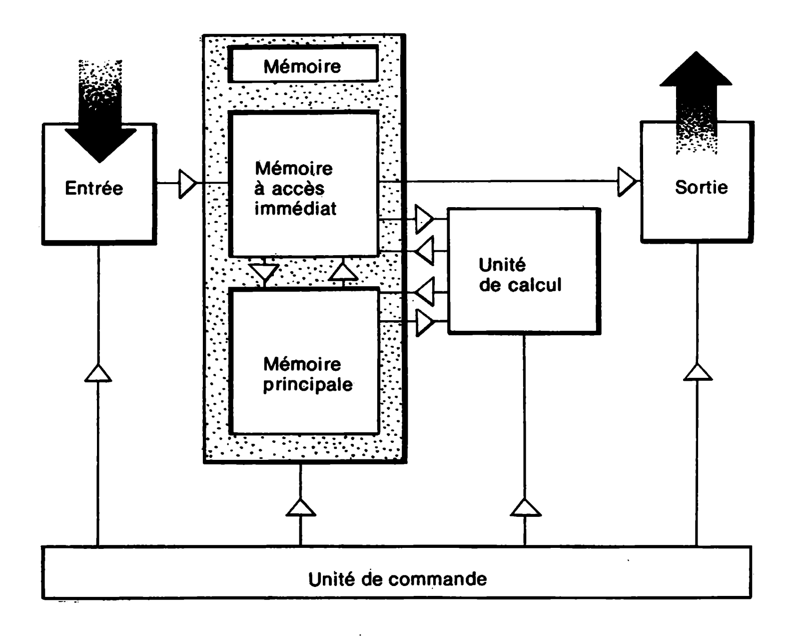


Figure 44. Schéma-bloc d'un ordinateur numérique.

rique : une unité d'entrée qui reçoit les données, une unité de mémoire qui emmagasine les informations et qui les présente sur demande, une unité de calcul qui procède aux opérations logiques ou arithmétiques à partir des données et suivant une série d'instructions codées, une unité de sortie pour l'enregistrement ou l'affichage des résultats des opérations et enfin, une unité de commande qui coordonne les opérations des autres unités (voir fig. 44).

La plupart des ordinateurs numériques travaillent avec des nombres en système binaire, quoique leurs entrées puissent être adaptées de manière à accepter des nombres en système décimal et leurs unités de sortie capables de convertir des résultats du système binaire en système décimal. Dans le système binaire de numérotation, il n'y a que deux chiffres : 0 et 1. Les nombres 0 à 10 du système décimal peuvent être représentés comme ceci :

Système décimal	*Système binaire*
0	0
1	1
2	10
3	11
4	100
5	101
6	110
7	111
8	1000
9	1001
10	1010

L'avantage du système binaire est le suivant : il ne demande que des dispositifs électroniques présentant deux états (ouvert ou fermé) pour pouvoir représenter n'importe quel nombre ; un des deux états représente le zéro et l'autre l'unité. Aujourd'hui, les dispositifs à deux états tels qu'un simple interrupteur, un relais, une lampe ou une diode semiconductrice, lesquels peuvent être ouverts ou fermés, constituent les composants à la fois les plus simples, les moins chers et les plus rapides qui sont à notre disposition. Ceci contrebalance largement le fait qu'on doit recourir à un grand nombre d'entre eux pour représenter un

nombre donné plutôt que de recourir aux dispositifs à dix états qui sont nécessaires lorsque l'on calcule en système décimal. C'est la raison pour laquelle les ordinateurs numériques comportent principalement un très grand nombre de dispositifs à deux états. Les processus qui s'y déroulent sont représentés par les changements extrêmement rapides de ces dispositifs qui passent d'un état à un autre, selon des séquences et des enchaînements prévus. Dans les ordinateurs numériques modernes, la « mémoire » se compose habituellement de nombreux aimants minuscules qui possèdent deux états magnétiques distincts, un représentant le zéro et l'autre l'unité. On peut passer très rapidement d'un état à l'autre au moyen d'une impulsion électrique et chaque petit aimant est identifié par un nombre appelé « adresse » qui le situe dans la mémoire. L'unité de commande composée d'une série d'interrupteurs électroniques, va chercher des nombres dans la mémoire, selon une séquence d'instructions et les manipule suivant les règles exigées par le calcul. Lorsqu'on parle d'utiliser au mieux l'ordinateur, cela revient à dire que l'on compose le programme le meilleur et le plus rapide possible, c'est-à-dire que l'on établit une série d'instructions selon un langage que comprend la machine, langage qui lui commande de mener successivement à bien toutes les opérations indispensables, pas à pas, chacune indiquant comment effectuer une opération arithmétique simple. Par exemple, une instruction peut être du type suivant : « Additionnez le nombre dont l'adresse est 615 au nombre dont l'adresse est 670 », ou encore « Suivez à nouveau l'instruction précédente ».

Les instructions sont exécutées dans l'unité de calcul qui est composée d'un certain nombre de circuits électroniques servant comme compteurs-enregistreurs et qui s'appellent « accumulateurs ». Lorsqu'ils sont en présence de la première instruction mentionnée ci-dessus, leur rôle consiste à lire le contenu de l'adresse 615 et de le transmettre à l'accumulateur, puis de lire le contenu de l'adresse 670 et de l'introduire dans l'accumulateur ; le total obtenu dans l'accumulateur est alors lu, puis transféré à une autre adresse dans la mémoire, libérant ainsi l'accumulateur pour l'opération suivante. Les unités de calcul peuvent faire des additions, des soustractions, des multiplications, des divisions et toutes les opérations logiques élémentaires.

Supposez, par exemple, que le directeur d'une fabrique de

chemises demande à son ordinateur : « Avons-nous assez de boutons pour terminer les chemises fabriquées la semaine dernière ? » L'ordinateur a dans sa mémoire le nombre total de chemises produites la semaine précédente, de même que le nombre de boutons en stock. Il est programmé de manière à calculer le nombre de boutons nécessaires et à comparer ce nombre *a* au nombre *b*, qui se trouve à l'adresse qui indique le nombre de boutons en stock. Si *a* est inférieur à *b*, l'ordinateur répondra « oui ». Si *a* est plus grand que *b*, il répondra « non ». Le non-initié imagine aisément que ce système convient parfaitement lorsqu'il s'agit de chemises et de boutons mais qu'il est beaucoup trop simpliste lorsqu'il s'agit de trouver une solution à une équation mathématique très compliquée ou à un problème scientifique complexe. S'il pense de la sorte, il est dans l'erreur. Tout problème soluble peut être divisé en une suite d'opérations logiques élémentaires. Il peut être très fastidieux de les résoudre de cette manière et certains problèmes exigeraient, pour être résolus, que des équipes de mathématiciens y travaillent durant des mois avec acharnement, additionnant sans fin des chiffres qui ne forment pourtant que des simples sommes. Mais l'ordinateur se trouve dans son élément face à ce genre de travail fastidieux et il maintient sans désemparer son rythme fantastique. Des erreurs *peuvent* arriver au cours du travail de l'ordinateur mais, habituellement, elles sautent aux yeux et sont facilement repérables.

Les données, ou informations, sont fournies à l'ordinateur par l'intermédiaire de l'unité d'entrée. Ces données peuvent revêtir diverses formes. Elles se présentent sous forme de bandes de papier perforées, de cartes perforées, d'une bande magnétique, de cartes magnétiques, de signaux provenant de machines à écrire électriques, de données transmises par fil, pour ne citer que les principaux supports. Quelle que soit la forme que revêtent les données à l'entrée, l'unité d'entrée doit traduire ces informations en signaux numériques lorsque le programme demande à en prendre connaissance. Les ordinateurs numériques modernes ultra-rapides ont un appétit formidable d'informations ; de nombreuses recherches ont été menées et quantité d'efforts consentis pour mettre au point des méthodes permettant de les alimenter en données, rapidement et sans erreur. Diverses tentatives ont été faites par des techniciens anglais et américains pour relier des

« machines à lire » aux entrées des ordinateurs de façon que les informations puissent être lues directement à partir des documents originaux. Une des meilleures de ces machines jusqu'ici est « l'Autolector », une « machine à lire » conçue en Grande-Bretagne : elle peut lire directement les caractères imprimés ou écrits à la main et les envoyer dans la mémoire de l'ordinateur au rythme de 14 000 éléments par heure. Un ordinateur expérimental a été inventé en Amérique qui accepte les instructions orales.

L'unité de sortie peut elle aussi être conçue de manière à fournir l'information traitée sous des formes variées. Les trois principales méthodes employées dans le but d'obtenir directement les informations après leur traitement sont : la bande perforée en papier, les cartes perforées et la bande magnétique. Chacun de ces moyens peut être utilisé pour actionner des mécanismes d'impression. La gamme très diversifiée des mécanismes capables d'atteindre de très grandes vitesses comprend les machines à écrire électriques, les imprimantes, capables d'imprimer une ligne à la fois, et les imprimantes électrostatiques. Les unités d'entrée et de sortie peuvent être situées à proximité des autres unités ou bien se trouver en des points éloignés qui peuvent être nombreux. C'est la télé-informatique. Ces points sont situés aux endroits où les données sont collectées et où le résultat final doit être distribué. Notons que les systèmes électroniques de traitement des données comprennent tout à la fois l'équipement périphérique aussi bien que le ou les ordinateurs centraux.

L'évolution des ordinateurs électroniques

Avant d'en arriver à nos appareils modernes, les ordinateurs ont traversé plusieurs stades de développement. Ces améliorations successives se sont échelonnées sur une vingtaine d'années. Les premiers ordinateurs étaient véritablement des instruments de laboratoire et ils avaient tendance à occuper tout l'emplacement disponible du laboratoire où ils étaient construits. ENIAC, achevé en 1946, occupait un vaste local aux Laboratoires de Recherches Balistiques à Aberdeen, dans le Maryland. Il ne comptait pas moins de 18 000 lampes thermoioniques et consommait 100

kilowatts de telle sorte qu'on aurait pu y faire cuire un œuf. EDSAC I (Electronic Delay Storage Automatic Computer) fut construit à Cambridge, en Angleterre, en 1949, sous la direction du Dr M.V. Wilkes, membre de la Royal Society. Il ne comprenait que 3 000 lampes, mais il était 6 fois plus rapide que ENIAC. ACE (Automatic Computing Engine) fut achevé au Laboratoire National de Physique de Grande-Bretagne, en 1951, après six années de travail. Sa conception reposait sur les premiers principes établis par le Dr Turing. Une deuxième version de ACE fut utilisée au Laboratoire National de Physique en 1958. C'était alors un des ordinateurs les plus gros et les plus rapides au monde.

Ces premiers ordinateurs étaient utilisés pour des travaux scientifiques, mais ils ont servi de prototypes pour la « première génération » d'ordinateurs commerciaux. Le premier de ces engins commerciaux dérivait de EDSAC I et fut appelé LEO (Lyons Electronic Office). Il fut construit en 1953 par J. Lyons & Co pour son bureau central et, durant douze ans, il collabora d'une manière efficace à la gestion des salons de thé Lyons.

L'ordinateur de l'English Electric, DEUCE Mk I, (Digital Electronic Universal Computing Engine) dérivait du premier ACE ; il fut conçu pour résoudre les problèmes scientifiques et techniques et ensuite DEUCE MkII forma l'unité centrale d'un certain nombre de systèmes de traitement de l'information. Les Américains furent un peu plus lents à construire des ordinateurs destinés à être utilisés dans les affaires, mais une fois qu'ils démarrèrent, ils en construisirent en quantité beaucoup plus grande que les Anglais. Ceci caractérise la forme qu'a revêtu le développement technique depuis 1920. On constate en effet, que les ingénieurs et les savants britanniques étaient à l'avant-garde de la technique des ordinateurs en 1950, mais qu'en 1960, les compagnies américaines avaient conquis une position dominante en ce qui concerne la fabrication et la vente d'ordinateurs dans le monde et aujourd'hui, ils ont conquis une partie importante du marché de la Grande-Bretagne elle-même. En Grande-Bretagne, la construction et la vente d'ordinateurs numériques fut lancée par deux groupes de firmes respectivement spécialisées dans l'équipement de bureaux et dans l'électronique. Les fabricants d'équipement de bureaux, de machines à calculer, de cartes perforées, etc., comprennent Burroughs, British Tabulating Machines (Hollerith),

Power Samas, National Cash Register, I.B.M. Grande-Bretagne, Remington Rand et De La Rue Bull Machines dont la création résultait d'un accord entre la firme anglaise De La Rue et la firme française Machines Bull. La British Tabulating Machine et Power Samas furent les premières de ces firmes à fusionner pour former l'International Computers and Tabulators Ltd ; ce processus de concentration, rassemblant les ressources et fusionnant les petits groupes, devint un trait caractéristique de l'industrie de l'informatique en Amérique, en Grande-Bretagne, tout comme en France et dans les autres pays d'Europe occidentale. Il reste aujourd'hui en ce domaine très peu de petites firmes indépendantes. Le second groupe de firmes anglaises se trouve du côté de l'électronique. Il comprend : Ferranti, Elliott Brothers, Standard Telephone and Cables, Emi Electronics, English Electric et A.E.I.

Sur le continent, les Grands de l'informatique sont Olivetti en Italie, Philips aux Pays-Bas, Telefunken et Siemens en Allemagne et la Compagnie Internationale d'Informatique en France.

En Amérique, l'ordinateur devint bientôt le signe extérieur de standing pour beaucoup de firmes et durant les années 1950, des services de vente trop pressants furent responsables d'avoir doté de nombreuses organisations d'ordinateurs numériques, organisations qui n'étaient pas préparées aux bouleversements profonds que cette introduction a souvent entraînés. Non seulement les clients et les usagers avaient beaucoup à apprendre au sujet des ordinateurs, mais également leurs constructeurs. Et la première génération des ordinateurs ne leur épargna pas les ennuis : les ordinateurs firent leurs « premières dents », phénomène associé à tous les nouveaux développements brutaux. L'industrie électronique sortit bientôt des lampes et des composants très perfectionnés mais de qualité encore trop insuffisante pour rencontrer les exigences très précises de ces machines où la défaillance d'un seul composant parmi plusieurs milliers signifie un arrêt dont les conséquences sont très coûteuses. Cependant, beaucoup d'hommes d'affaires américains furent prompts à découvrir que, en convoquant une réunion des fabricants et des utilisateurs et en fournissant à ces derniers un plan indiquant méthodiquement comment il fallait se servir de ces machines, ils en obtenaient un très bon rendement et pouvaient en amortir rapidement le prix, grâce à une utilisation plus efficiente. Aux Etats-Unis, l'existence

d'un marché intérieur considérable, aux dimensions toujours croissantes, pour les différents types d'ordinateurs, servit de base à une rapide expansion dans ce domaine de firmes telles que l'International Business Machines (I.B.M.), Honeywell et Remington Rand. A la fin des années 1950, ces firmes avaient acquis une expérience et un savoir-faire qui devaient constituer leur meilleur atout lorsqu'elles se lancèrent à l'assaut du marché mondial. Notons qu'aujourd'hui, à elle seule, la firme I.B.M. truste 75 pour 100 du marché américain. En 1968, 73 pour 100 du marché mondial des ordinateurs étaient du matériel I.B.M. Cependant, fin des années 1950, en Grande-Bretagne, ces nouvelles machines électroniques étaient considérées avec suspicion sauf par des savants et quelques industriels d'avant-garde et le gouvernement était soit ignorant, soit indifférent à la révolution qu'elles impliquaient. A la fin de 1960, pas plus de 300 ordinateurs environ avaient été livrés en Grande-Bretagne et ce pays était au moins cinq ans en retard par rapport aux Etats-Unis en ce qui concerne l'utilisation pratique de ces machines.

Au cours des premières années 1960, arriva la « seconde génération » d'ordinateurs. Non seulement ceux-ci étaient le fruit de l'expérience de la décade précédente, mais en outre, ils différaient radicalement des ordinateurs de la première génération pour la manière dont ils employaient les nouveaux composants et dont ils profitaient des nouvelles techniques d'assemblage ainsi que par la façon dont ils incarnaient des conceptions nouvelles. Les lampes thermoioniques y étaient remplacées par des transistors et des éléments semi-conducteurs, ce qui se traduisait par une très forte réduction de l'encombrement, une diminution de la consommation d'électricité et de la dissipation de chaleur ; les fouillis de fils établissant les connexions intérieures étaient largement réduits grâce à la technique des circuits imprimés et à celle des modules que l'on pouvait ficher sur des tableaux standardisés ; des nouvelles ferrites furent utilisées dans des éléments de mémoire magnétique de dimensions réduites et à haute capacité, avec un temps d'accès très court pour atteindre tout élément de mémoire. Avec des dispositifs de commutation perfectionnés et des circuits améliorés, la vitesse d'opération s'accrut. En fait, les ordinateurs modernes sont si rapides que le temps que mettent les signaux pour voyager le long des connexions internes à la vitesse



Figure 45. « Voici notre employé n⁰ 37639481 ; et voici A.L.F.I.E. » (Reproduit avec l'aimable autorisation du Punch.*)*

de la lumière, se présente déjà comme un facteur limitatif de leur rendement.

Durant ces dernières années, l'utilisation des ordinateurs dans toutes les nations industrialisées a considérablement augmenté. L'American Management Association estime que, à la fin de 1964, 21 000 ordinateurs étaient installés aux Etats-Unis, la plupart de ceux-ci étant des machines à usage non spécialisé, se louant entre 10 000 dollars et 25 000 dollars par an. La capacité potentielle totale de calcul d'un tel nombre d'ordinateurs est énorme, mais l'A.M.A. considère que seule une petite proportion des ordinateurs d'Amérique sont utilisés à leur plein rendement et que, en fait, beaucoup sont mal employés. De nombreux experts estiment que le petit nombre d'ordinateurs installés en Grande-Bretagne à ce moment-là — un peu moins de 10 000 — était mieux exploité que les machines américaines, particulièrement dans le domaine de la commande par ordinateur des processus industriels. Toutefois, la Grande-Bretagne est tombée bien en dessous non seulement des Etats-Unis, mais également en dessous de la plupart des pays d'Europe occidentale en ce qui concerne le nombre d'ordinateurs en fonctionnement. En 1965, la Suisse avait trois fois plus d'ordinateurs par million de travailleurs que la Grande-Bretagne ; la Suède et la France, deux fois autant. La Norvège, l'Allemagne de l'Ouest, les Pays-Bas, le Danemark, la Belgique et l'Italie dépassaient pareillement la Grande-Bretagne dans ces statistiques. Dans le même temps, le Japon développait sa propre industrie de l'informatique et entrait en concurrence avec les Etats-Unis et la Grande-Bretagne pour la conquête du marché mondial. Les Japonais ne fabriquaient pas seulement des copies bon marché des équipements américains ou anglais mais ils menaient à bien leurs propres recherches, apportant ainsi leur contribution originale à l'art de fabriquer des ordinateurs.

Je n'ai pu obtenir des chiffres valables concernant le nombre d'ordinateurs en usage en U.R.S.S., mais il n'y a aucun doute que le gouvernement soviétique attache une grande importance à la production et à l'exploitation des ordinateurs. Néanmoins, en 1968 dans un article de la *Pravda* V.I. Loskutov dit en substance que : « Les ordinateurs que nous avons fabriqués fonctionnent trop lentement. Le développement des équipements pour l'informatique traîne en longueur. » Toujours dans la *Pravda* l'acadé-

micien V. Gluskhov a révélé que les pannes mécaniques dans les équipements périphériques étaient fréquentes et, en outre, mal réparées. Le retard de l'Union Soviétique en matière d'informatique semble important au point qu'un autre académicien M. Darodnitsyn suggère d'acheter des ordinateurs à l'Ouest... !

Une offre en vue de faire reprendre par la Grande-Bretagne la tête du monde en ce qui concerne l'informatique, fut faite par le gouvernement travailliste au début de 1965. Le ministre de la Technologie d'alors, Monsieur Cousins, présenta un plan aux Communes (le 1er janvier 1965), plan visant à engendrer une augmentation rapide dans l'utilisation des ordinateurs et dans le recours aux techniques de l'ordinateur dans l'industrie et le commerce. Ce plan reposait sur l'idée « d'une industrie britannique de l'informatique florissante ». Cette tardive reconnaissance par le gouvernement britannique de l'importance de l'industrie de l'informatique jouera un rôle clé dans la seconde révolution industrielle, vis-à-vis des Etats-Unis et des pays d'Europe occidentale. Mais il est significatif de noter que les dépenses projetées par le gouvernement britannique en matière d'informatique sont insignifiantes en comparaison, par exemple, de celles consenties pour l'industrie aéronautique. Je pense que les ordinateurs se révéleront être plus importants pour la Grande-Bretagne que l'avion supersonique, car en effet, ils sont nécessaires pour la fabrication, les essais et l'exploitation de cet avion. Ils pourraient même être utilisés pour montrer si un tel avion sera rentable.

Quant à la France, ce n'est qu'en 1966 qu'elle a décidé vraiment de faire un effort dans le domaine de l'informatique, lorsque le gouvernement lança le « Plan Calcul ». Ce plan a pour premier objectif de doter le pays — à partir des firmes existantes — d'une véritable industrie des ordinateurs travaillant sur des programmes nationaux concertés. Un financement d'un montant d'un milliard de francs français fut prévu, dont l'Etat supporterait la moitié. Ce Plan comprend d'abord la création d'une « Délégation générale à l'informatique » qui traite pour le gouvernement tous les problèmes relatifs à l'informatique. Ensuite, deux sociétés furent créées : d'une part, la C.I.I. (on prononce parfois C 2i) c'est-à-dire la Compagnie Internationale pour l'Informatique résultant de la fusion de la C.A.E. (Compagnie européenne d'Automatisme Electronique) et de la S.E.A. (Société

d'Electronique et d'Automatisme) ; et d'autre part, la Sperac, une société réalisée par des apports financiers de Thomson-Houston et de la Compagnie des Compteurs.

De plus, fut mis en place en 1967, l'I.R.I.A. (Institut de Recherche d'Informatique et d'Automatique) chargé d'entreprendre et de susciter des recherches fondamentales, notamment dans le domaine de l'informatique et de l'automatique, et de développer la formation comme l'information des techniques et des cadres.

Au début de 1968, Robert Galley, délégué général à l'Informatique, fit un bilan plutôt optimiste aux assises nationales du Centre Chrétien des Patrons : « Certes, il n'existe en France que 2 400 ordinateurs contre 40 000 aux Etats-Unis. Notre pays se situe donc ainsi pour le nombre, au quatrième rang mondial, mais au deuxième après les Etats-Unis, pour ce qui concerne la puissance de calcul. Cette puissance de calcul va s'accroître de 30 pour 100 par an dans les dix années à venir. Cela signifie que le nombre de personnes employées dans l'industrie de l'informatique passera de 40 000 à 45 000 actuellement, à 400 000 en 1980. En 1970, on comptera en France de 8 000 à 12 000 ordinateurs. Enfin, le chiffre d'affaires global de l'informatique rattrapera celui de l'automobile en 1976. »

En outre, une étude menée par le groupe Diebold estime que le nombre d'ordinateurs en France en 1967 s'est accru de 43 pour 100 (au lieu des 20 à 25 pour 100 prévus). Fin 1968 le parc d'ordinateurs, s'il n'était que de 200 unités en Belgique, atteignait 3 000 en France, 20 000 pour l'Europe Occidentale, tandis que les Etats-Unis en comptaient 50 000.

David contre Goliath

Comme nous arrivons à la fin de la « seconde génération » d'ordinateurs, nous pouvons observer une division intéressante dans le cours de leur évolution. Les monstres de la « première génération » avaient ouvert la route à des successeurs de dimensions réduites, ayant un meilleur rendement et dissipant beaucoup moins de chaleur. Cependant, les firmes importantes fabriquant

des ordinateurs aux Etats-Unis, en Grande-Bretagne, au Japon, en France et en Hollande ont toutes aspiré à construire des modèles plus gros et de meilleure qualité en ayant recours aux nouveaux composants fournissant à la fois une plus grande capacité et une vitesse accrue par rapport à leurs prédécesseurs. Il existait beaucoup d'arguments en faveur des unités de grandes dimensions. Un de ces arguments était le suivant : quoique le coût de ces Goliath soit énorme (il se chiffre par millions de dollars), ils ont une telle capacité et une vitesse tellement fantastique que leur prix de revient *par opération* en un temps donné est inférieur au prix de revient de machines plus petites et moins coûteuses. Des savants, en particulier, ont insisté sur l'urgence qu'il y a de pouvoir disposer d'ordinateurs rapides et très puissants pour résoudre des problèmes en matière de physique nucléaire, d'astrophysique, de biologie moléculaire, de mathématiques ainsi que des problèmes existant dans de nombreuses autres disciplines qui demandent des quantités astronomiques de calculs.

Pour construire un ordinateur, on peut avoir recours au « système modulaire ». Dans ce système, toutes les unités de base de l'ordinateur — unités de mémoires, unités de calcul, unités d'entrées, etc. sont standardisées et conçues de telle manière qu'elles peuvent être ajoutées à des ensembles existants. Les utilisateurs peuvent alors construire leur propre équipement exactement adapté à leurs besoins, simplement en fichant de nouveaux modules ou en débranchant ceux qui ne sont plus nécessaires.

Le premier de ces Goliath fut l'I.B.M. 7030 (surnommé Stretch) construit pour être le plus grand et le meilleur engin du moment, capable d'effectuer plus d'un million d'opérations logiques par seconde. Plusieurs modèles différents de Stretch furent mis au point, mais leur rendement n'atteignit jamais ce qu'on espérait et en tout cas, ne justifia pas les millions de dollars qu'on y investit. Ce rendement décevant de Stretch obligea I.B.M. à consacrer beaucoup plus d'attention aux systèmes modulaires et une série de modules furent mises au point qui rencontrèrent un succès considérable sur le marché mondial. En Grande-Bretagne, cependant, Ferranti prit la tête du progrès en construisant un ordinateur encore plus grand que Stretch et appelé Atlas. Atlas possède des spécifications vraiment très impressionnantes. Il peut accepter un million d'instructions par seconde. Sa mémoire

de travail peut emmagasiner 256 fois 4 096 mots de 48 éléments d'information. La mémoire principale comprend 4 tambours magnétiques de 24.000 mots chacun, au minimum. Il peut lire les cartes perforées à la vitesse de 600 par minute et imprimer les résultats au rythme de 600 lignes à la minute. On connaît le système du « temps partagé » : plusieurs clients peuvent utiliser le même ordinateur ; chacun paie un prix de location en fonction du temps pendant lequel il y a eu recours. Atlas, utilisé en temps partagé, peut effectuer autant d'opérations que l'on veut, simultanément, sans qu'une erreur dans une opération puisse avoir d'influence sur une autre. Dans sa mémoire fixe, il a un programme de supervision qui lui permet de vérifier de temps à autre les priorités des programmes et de les coordonner de façon à ce que le système, dans son ensemble, fonctionne de la manière la plus efficiente. Quatre consoles permettent un accès indépendant à quatre utilisateurs différents, chacun d'entre eux pouvant se servir de plus d'un programme à la fois.

Le premier prototype d'Atlas fut construit en 1961 et installé à l'université de Manchester. Ferranti fut satisfait du rendement de ce prototype et quoiqu'il ait quelques ennuis avec le « hardware » (un terme à la mode pour désigner les appareils qui composent l'ordinateur central et sa mémoire), il rendit des services dont elles avaient grand besoin à beaucoup d'équipes de recherches scientifiques, dans diverses parties de Grande-Bretagne. L'Institut de la Science de l'Ordinateur fut fondé par l'université de Londres et il commanda un Atlas — dont coût environ 6 millions de livres — qui devait devenir son principal outil. Malheureusement pour la réputation de l'ordinateur le plus perfectionné du monde, on rencontra une foule de problèmes techniques et les constructeurs, à savoir I.C.T. qui avait racheté Ferranti, entrèrent en conflit avec les dirigeants de cette dernière firme. Cela n'arrangea pas les intérêts de l'université qui voulait avoir l'utilisation maximum de cet appareil. Les utilisateurs étaient frustrés ; ils se trouvaient en possession d'une machine qui travaillait seulement 4 ou 5 heures par jour et n'effectuait en même temps que plusieurs centaines de travaux au lieu des milliers escomptés. Certains projets de recherches ont dû être mis au rancart ou détournés vers un autre ordinateur. Par exemple, un projet de l'Imperial College pour analyser de grands nombres en physique nucléaire, grâce à une liaison directe avec Atlas, dut

être abandonné ; c'est un appareil américain, situé en Allemagne, qui fut utilisé à sa place. Les ennuis provinrent non pas du hardware mais bien du « software », en particulier avec la routine de supervision, qui se révéla représenter une tâche de beaucoup plus grande importance que celle envisagée d'abord. Un facteur primordial qui aurait bien dû être compris après l'expérience américaine, était la nécessité d'une coopération, la plus étroite possible, entre l'équipe responsable de la conception et de la mise au point de l'ordinateur et l'équipe d'utilisateurs de l'Institut. En fait, cette coopération semble avoir été boiteuse. Les problèmes d'Atlas sont maintenant résolus et cette mise au point représente un pas en avant considérable dans la science de l'ordinateur. En clair cela signifie que la solution très souple fournie par la construction modulaire peut fournir des résultats plus rapides et donc que David, une fois de plus, l'emporte sur Goliath.

Comment seront les ordinateurs de l'avenir ?

Aujourd'hui, la « troisième génération » d'ordinateurs est née. Le hardware de cette génération repose sur l'utilisation de la technique des micro-modules et de celle des circuits intégrés décrits au chapitre 3. C'est-à-dire qu'ils sont très compacts. Un ordinateur central, avec sa mémoire logée dans un simple meuble, a la capacité d'un Atlas qui occupe un grand bureau à lui seul. En 1968, I.B.M. annonçait la mise au point dans ses laboratoires de San José, en Californie, d'une mémoire géante capable d'emmagasiner 1 000 000 000 000 000 000 (10^{18}) éléments d'information ! Cela laisse encore ouvert cependant les problèmes du software et de l'équipement périphérique. Je pense que des progrès très marqués devront être faits en ce qui concerne le software et que l'équipement périphérique commandera à la fois les dimensions et le prix d'une installation, spécialement pour les usages commerciaux. Parmi les perfectionnements à atteindre pour permettre aux vitesses des équipements d'entrée et de sortie de suivre les vitesses de l'ordinateur central, il y a les systèmes de

lecture automatique qui seront capables de lire directement les caractères imprimés ou manuscrits pour les communiquer à la mémoire de l'ordinateur. Il y a aussi les dispositifs d'entrée qui traduiront les instructions orales dans le langage machine. Du côté des unités de sortie, la Compagnie Minnesota Mining and Manufacturing (3M) a mis au point une imprimante ultra-rapide. Un faisceau d'électrons, modulé par l'ordinateur, inscrit les caractères sur un film au rythme de 60 000 caractères par seconde, soit 30 000 lignes par minute ! Des réalisations de ce genre permettent de sortir du goulot d'étranglement que constituaient les unités de sortie.

Les premières réalisations actuelles, en ce qui concerne la construction des centres d'ordinateurs reliés par fils aux utilisateurs, vont s'étendre jusqu'à devenir des réseaux à l'échelle régionale et nationale. Ces installations puissantes et complexes seront dépannées et entretenues par d'autres ordinateurs conçus spécialement pour cet usage. De cette manière, la puissance totale des ordinateurs d'une nation entière sera coordonnée et utilisée au mieux. Un pas important vers ce but sera fait quand un langage machine universel pour ordinateur aura été mis au point et accepté par tous, de sorte que les programmes pourront être exécutés avec l'efficacité maximum par tous les ordinateurs du réseau.

Après les micro-modules, le recours à la micro-électronique (voir chapitre 3) pour la construction d'équipements d'informatique va permettre de réaliser des ordinateurs de poche qui pourraient devenir à l'avenir aussi familiers aux savants et aux ingénieurs que la règle à calcul aujourd'hui. D'autres techniques se font jour. Ainsi, le rayon laser va entrer dans le domaine de l'informatique. L'Institut de physique Lebedeff de Moscou étudie un ordinateur ultra-rapide dans lequel les impulsions électriques sont remplacées par les signaux lumineux du laser. Il permettrait d'effectuer 10 millions d'additions à la seconde au lieu de 4 millions dans le cas des ordinateurs classiques les plus rapides.

D'autre part, I.B.M. a annoncé que des hologrammes peuvent être produits par un ordinateur. Celui-ci peut créer des hologrammes d'objets n'existant que théoriquement, sans réalité physique. L'ingénieur pourrait ainsi obtenir l'image en relief d'un pont ou d'une auto sans avoir besoin de les construire ni même de les dessiner. L'architecte pourrait obtenir une vue en relief

d'un bâtiment qui serait encore sur la planche à dessin.

La question de savoir si l'on peut construire des machines capables de penser par elles-mêmes, soulève de nombreuses discussions. Bien que les ordinateurs d'aujourd'hui ne pensent pas eux-mêmes, puisqu'on ne leur a pas appris à penser, je ne vois aucune raison fondamentale s'opposant à ce que les structures artificielles puissent être conçues de manière à simuler le processus de la pensée. En effet, en voici la preuve : la Force aérienne des Etats-Unis a annoncé en avril 1965 qu'elle avait construit un modèle rudimentaire d'une machine capable d'apprendre à partir de ses propres erreurs. Une cellule nerveuse a été créée artificiellement grâce à un dispositif dénommé « artron » (cellule nerveuse artificielle) qui, lorsqu'on en utilise toute une série, constitue une mémoire et peut résoudre des problèmes. Un porte-parole de la Force aérienne américaine a affirmé qu'un réseau d'artrons reliés ensemble « réagit à la punition et à la récompense tout en apprenant le comportement que l'on veut lui inculquer et tirant les conclusions de ses propres erreurs. Il prend des décisions et cherche activement des manières nouvelles et meilleures d'effectuer une tâche donnée. Enlevez-lui quelques-uns de ses artrons avant de lui faire accomplir cette tâche et il imaginera une approche entièrement différente pour accomplir la même chose. » La Force aérienne américaine est intéressée par ce dispositif car elle voudrait mettre au point un système de commande de vol automatique qui ne devrait pas être programmé à l'avance, qui pourrait fonctionner longtemps sans crainte d'arrêt, même si certains de ses éléments tombaient en panne et qui serait capable de s'adapter lui-même à des conditions imprévues. Les chercheurs de la Force aérienne considèrent que leur appareil pourrait être prêt vers 1975 et qu'il serait capable de trouver des solutions à leurs problèmes même si 70 pour 100 de ses éléments électroniques tombaient en panne. Des techniques telles que celle-ci, utilisées en conjonction avec les développements futurs de la micro-électronique, créeront des cerveaux électroniques capables de rivaliser en beaucoup de points avec le nôtre.

Durant les vingt prochaines années, des ordinateurs prendront de plus en plus sur eux, sans doute, le travail de paperasserie, tout le travail de routine et les tâches sans cesse répetées exigés par la vie moderne. Et cela aussi bien dans l'industrie que dans

le commerce, dans l'administration que dans les services. Qu'arrivera-t-il aux employés et aux ronds-de-cuir que les ordinateurs auront remplacés ? Ceci n'est qu'un des problèmes posés par la révolution de l'électronique et j'y reviendrai plus tard. Ce que je pense, et ce qui pourra être chaudement contesté, c'est que les ordinateurs vont amener des bouleversements sociaux de grande envergure, que nous y soyons préparés ou non.

Chapitre 7

L'ELECTRONIQUE ET LA SECONDE REVOLUTION INDUSTRIELLE

Si nous envisageons avec confiance la tournure que vont prendre les choses à venir, nous pouvons évoquer l'automation comme étant le plus grand bienfait que l'humanité ait jamais connu.

Albert Einstein

La première révolution industrielle a remplacé les muscles de l'homme dans l'industrie par l'utilisation de la vapeur et la force mécanique. Dans l'industrie, la seconde révolution industrielle remplacera la direction manuelle des machines par des commandes électroniques. Si cette nouvelle révolution semble actuellement moins dramatique que les révolutions politiques de notre époque, ses effets sur notre façon de vivre, tout comme ceux qu'a exercés la première révolution industrielle, seront beaucoup plus importants à long terme. L'homme ne vit pas par la technique seule mais par le bien-être matériel qui en découle en fin de compte. Notre civilisation serait en effet bien peu de chose sans notre organisation politique et sociale hautement développée, sans la littérature, l'art, la musique, la philosophie, et ces valeurs périraient entièrement sans notre technique, puisque nous redeviendrions des sauvages démunis, condamnés à mourir de faim ou de froid si notre milieu nous devenait défavorable. C'est précisément cette possibilité unique que possède l'homme d'exercer consciemment un contrôle[1] sur son environnement matériel qui lui permet de dominer les autres espèces animales de notre

1. N. du T. : Dans les pages qui vont suivre, il faut prendre le mot « contrôle » dans le sens qu'il a en anglais, c'est-à-dire qu'il recouvre une idée de commande et non de surveillance. C'est dans ce sens qu'on dit : « Le pilote contrôle son avion. »

planète. L'électronique nous offre les moyens techniques pour étendre considérablement ce contrôle. Elle nous offre la perspective de maîtriser sans effort les immenses réserves d'énergie enfermées au sein du globe ou dispensées par le soleil. Elle nous fournit les bases nécessaires pour arriver à la production automatique de tous les biens dont nous avons besoin. L'électronique constitue la clef de l'automation.

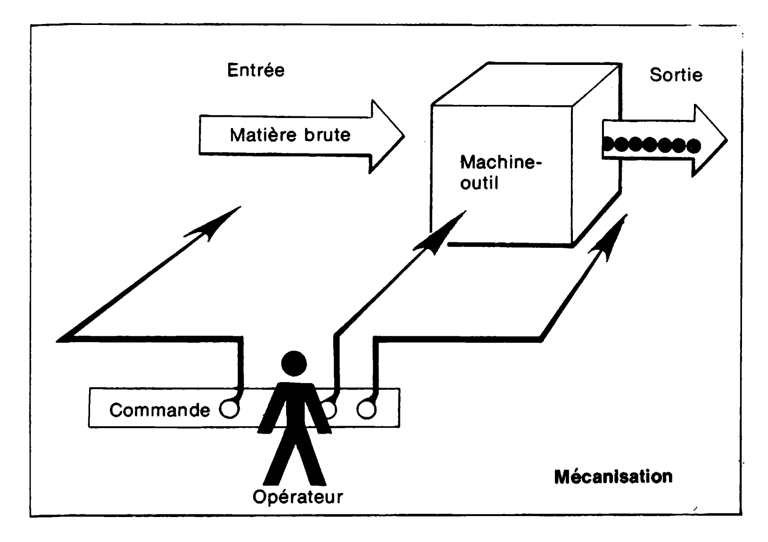
Mécanisation et automation

Le mot « automation » est employé très fréquemment de nos jours mais les experts ne sont pas d'accord sur sa signification précise. Historiquement, le mot fut forgé en 1947 par D.S. Harder, un directeur de la Ford Motor Company à Detroit, pour désigner la manutention automatique d'accessoires divers et de pièces détachées à l'intérieur et à l'extérieur des machines-transfert qui construisaient alors des moteurs d'autos sans aucune intervention humaine. John Diebold, un étudiant d'une université américaine, inventa aussi ce nom à peu près au même moment pour désigner « un nouveau système très emballant capable de rendre complètement automatiques les chaînes de production dans les usines, grâce à l'utilisation de systèmes de commande électronique ». Ce mot, composé du grec « automatos » (se déplaçant par lui-même) et du suffixe latin « ion » signifie littéralement : « une action qui se meut par elle-même ». Sir Leon Bagrit, en 1964, dans une série de conférences nous dit qu'il n'aime pas ce mot, parce qu'il évoque pour lui des visions de monstres à la Frankenstein. Il préférait le remplacer par « cybernation », un autre mot hybride. Mais le mot « automation » est entré dans le langage moderne parce que, quelle que soit sa signification précise, il est employé dans la conversation courante pour décrire des idées et des techniques qui ont des effets visibles et concrets sur la vie de tous les jours et qui prennent rapidement une importance croissante. Ces idées et ces techniques incluent tous les moyens (depuis l'hydraulique, la mécanique, l'électricité, l'électronique, et même les bouts de ficelle), tous les moyens qui permettent à la production automa-

tique d'entrer progressivement dans la réalité. Mais je pense que toute définition de l'automation devrait mettre avant tout l'accent sur le rôle prédominant des techniques électroniques.

On peut déjà discerner les origines de l'automation dans les débuts de la première révolution industrielle, lorsque fut introduite la mécanisation, mais l'on doit éviter l'erreur commune consistant à dire que l'automation n'est qu'une mécanisation plus poussée. Je ne voudrais pas non plus aller à l'autre extrême, avec Sir Leon Bagrit, en disant que l'automation est exactement l'opposé de la mécanisation, pas plus que je ne voudrais décrire le corps humain vivant comme l'opposé de son squelette : le second est contenu dans le premier, il en est une part essentielle, mais il n'est qu'une partie du tout.

La relation existant entre l'automation et la mécanisation peut être illustrée au moyen d'un exemple très simple. Prenons le cas d'une fabrique de bassins métalliques à faire la vaisselle (voir fig. 46). Ces objets peuvent être fabriqués laborieusement à partir de la matière première en utilisant uniquement des outils manuels. Une meilleure manière de procéder consiste à avoir recours à une machine capable d'estamper des douzaines de bassins à la fois à partir d'une feuille métallique que l'on y introduit. C'est cela la mécanisation. La machine est sous la surveillance d'un mécanicien qui supervise la production, peut-être en s'aidant d'appareils de mesure et de contrôle. Il règle la vitesse de la machine ou l'introduction de la feuille métallique, et surveille la qualité de la matière première au cas où les objets qui sortent de la machine ne sont pas conformes aux caractéristiques voulues. Supposons maintenant que les appareils de mesure des objets finis soient installés sur la machine elle-même pour examiner les bassins au fur et à mesure de leur production et que ces appareils envoient en retour des informations vers une unité de commande automatique qui compare cette information avec celle qui lui parvient d'une bande magnétique contenant les instructions destinées à la machine. Cela c'est l'automation ! La commande manuelle effectuée par le mécanicien est remplacée par la commande automatique, laquelle fonctionne à travers une boucle fermée (comme on appelle le chemin parcouru par le *feed-back**). Cette commande automatique agit continuellement de manière à faire varier la vitesse du moteur, le réglage des poinçons, la vitesse à laquelle la tôle pénètre dans la machine, et toute autre variable pouvant être



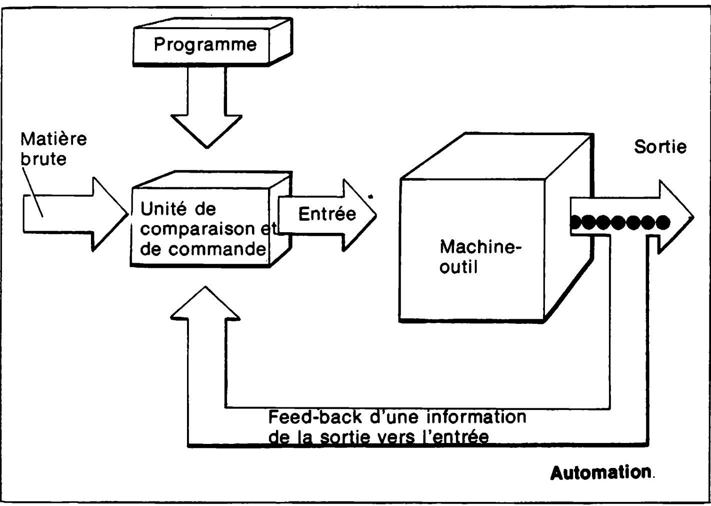


Figure 46. Ces deux schémas permettent de comparer mécanisation et automation et de voir le rôle joué par l'opérateur humain.

contrôlée qui affecte le produit fini.

Imaginez maintenant cette machine dans le contexte de l'usine automatique (voir fig. 47). Les bassins à faire la vaisselle ne sont peut-être qu'une partie d'un appareillage dans la fabrication duquel l'usine s'est spécialisée. Toutes les parties de cet appareillage sont produites par des machines automatiques formant des chaînes de production. Ensuite, elles sont assemblées automatiquement sur des chaînes d'assemblage. Toutes les matières premières provenant des magasins sont introduites dans les chaînes de production selon les instructions de l'ordinateur principal qui commande la production et coordonne les activités de chaque chaîne de production, des chaînes d'assemblage, du poste d'inspection et des salles d'expédition. L'ordinateur principal est relié à chacune de ses unités périphériques, lesquelles à leur tour, sont en communication avec l'ordinateur. Celui-ci reçoit également des informations qui déterminent la production : le carnet de commande, les délais de livraison, les prix de revient, les salaires, etc. Une analyse complète de tout le processus de production peut être fournie instantanément à la direction qui corrige ou change, en conséquence, le programme de l'ordinateur principal. Aucune intervention humaine n'est nécessaire dans cette usine (imaginaire). Même l'entretien des machines pourrait, si on l'estime désirable, être surveillé par l'ordinateur et les réparations pourraient être effectuées automatiquement. Voilà ce qu'on entend par « automation intégrale ». Il n'existe, autant que je sache, aucune usine totalement automatique, bien qu'il y en ait quelques-unes qui ne sont pas loin de l'automation intégrale. Il en existe beaucoup cependant où a été introduite une automation partielle. Il apparaîtra clairement, même pour le lecteur non technicien, que l'usine automatique repose sur le bon fonctionnement de beaucoup d'appareils de contrôle et de mesure qui effectuent la commande automatique de chaque unité de l'usine et transmettent les informations au centre de commande, lequel joue un rôle indispensable de coordination vis-à-vis de toutes les unités de l'usine. C'est ici que les appareils électroniques trouvent leur plein emploi. Il est difficile de découvrir un type de mesure ou une caractéristique mis en jeu dans un processus de fabrication moderne (température, pression, volume, longueur, vitesse, accélération, poids, couleur, vibration, couple de torsion, résistance, dureté, etc.) qui ne puisse être converti en un courant

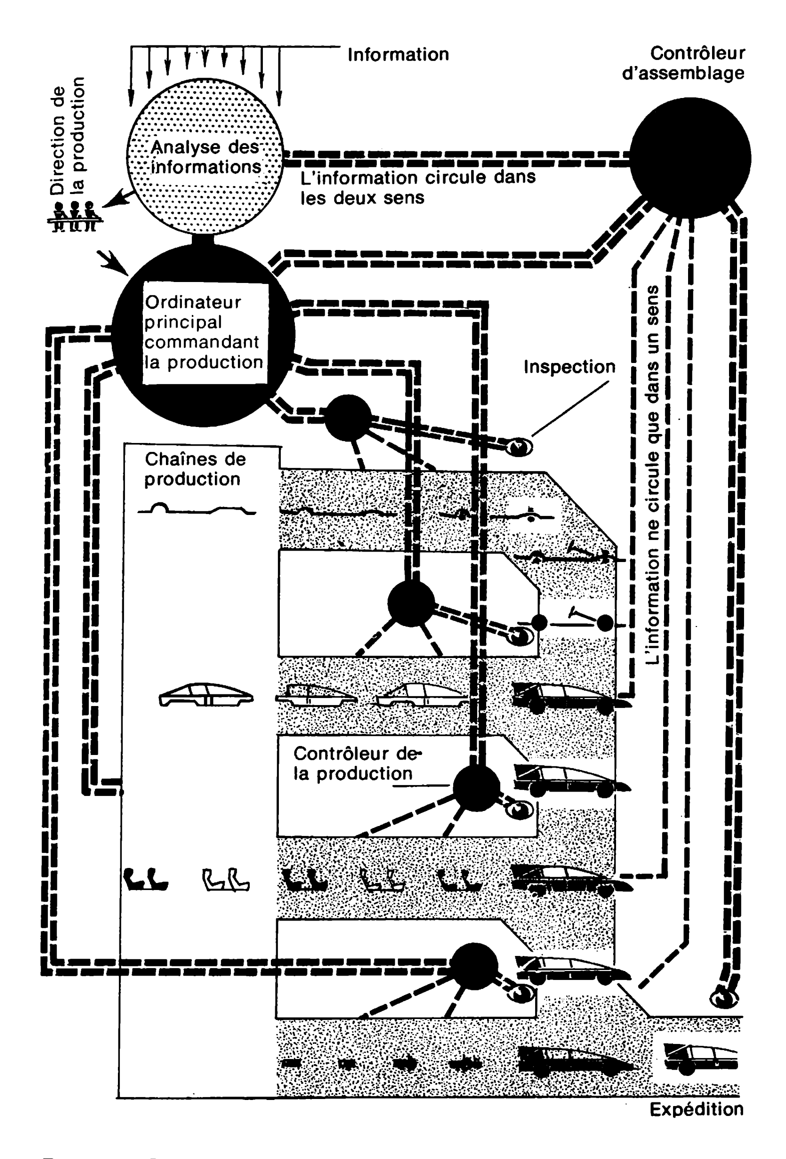


Figure 47. Une usine automatique.

composé d'électrons et donc, qui ne puisse être ainsi intégré dans le processus de commande électronique. La conversion en un courant est effectuée par une catégorie très nombreuse d'appareils divers connus sous le nom de « transducteurs ». Elle comprend les appareils décrits au chapitre 3, et qui sont aujourd'hui fabriqués en masse par l'industrie électronique. Il existe d'autres manières de mesurer et de contrôler les opérations de production qu'en utilisant des appareils électroniques, mais la plupart de ces systèmes présentent une vitesse de réponse moins rapide, ainsi qu'une sensibilité, une précision et une souplesse inférieures. Dans beaucoup de cas, ils sont incapables de soutenir le rythme des machines qui composent un groupe de production moderne ultra-rapide. La transmission des données et des résultats des mesures effectuées dans les différentes parties de l'usine au moyen de l'équipement de traitement de l'information vers l'ordinateur central et en sens inverse, représenterait un problème formidable si nous n'avions à notre disposition les techniques électroniques. En définitive, le volume considérable d'informations qui peut être traité par l'ordinateur central ne pourrait être manipulé assez rapidement par un quelconque calculateur mécanique. Seul l'ordinateur numérique électronique ultra-rapide peut y faire face avec succès.

Quelques exemples d'application de l'automation dans l'industrie

Peut-être que la meilleure manière de saisir la portée et la puissance de l'automation est d'examiner quelques exemples pratiques d'application à l'industrie moderne.

Notre premier exemple est pris dans l'industrie charbonnière : il s'agit de deux mines de charbon situées en Angleterre. Les méthodes automatiques d'extraction du charbon, qui sont destinées à exercer un effet profond sur l'avenir de l'exploitation à grande profondeur, ont été mises à l'épreuve sur grande échelle en 1963 et 1964 dans deux mines anglaises : la mine Newstead dans le Nottingham et la mine Ormonde dans le Derbyshire. Après plusieurs années de travaux préliminaires effectués par des

savants et des ingénieurs du Conseil National du Charbon et par l'industrie privée, on trouva une solution au problème qui ne laissait pas en paix la conscience de chacun : comment protéger des dangers majeurs, les hommes œuvrant dans des galeries situées à grande profondeur ? Les techniques électroniques rendent possibles l'abattage et le convoyage du charbon depuis le front de taille jusqu'à la surface sans qu'il y ait besoin d'une intervention humaine. Le principe de fonctionnement de l'installation automatique des deux mines est très simplifié : un rabot se déplace le long de la veine, y découpant une tranche de 50 centimètres d'épaisseur. Quand il atteint l'extrémité du front de taille, il fait marche arrière tandis qu'une charrue fait basculer le charbon sur un convoyeur. De là, le charbon est transféré à un autre convoyeur formant un angle droit avec le premier et fonctionnant sous les ordres de la console de commande de l'aire de chargement. Quand le rabot et sa charrue ont exécuté un cycle complet, l'ensemble formé par la machine à abattre le charbon et le convoyeur avance à nouveau de 50 centimètres dans la veine et le rabot entame la tranche suivante. Un moyen est prévu pour guider le rabot et la charrue, de même qu'est prévu l'enlèvement du charbon abattu qui pourrait entraver le fonctionnement du convoyeur. Ce système fonctionne parfaitement grâce à une invention importante, le « soutènement marchant » : le Chock Automation System, une méthode ingénieuse offrant toute sécurité et qui permet de déplacer à distance le soutènement de taille. Ce système fait usage des techniques et appareils électroniques les plus récents. Le convoyeur et le soutènement progressent automatiquement après chaque manœuvre de la machine à abattre et la situation sur le front de taille, ou à chaque étançon, est indiquée sur un panneau central de commande situé dans la galerie principale. Tout cet équipement électronique utilise plus de mille transistors et, après trois mois de fonctionnement, un seul était tombé en panne. Ces installations automatiques, qui abattent le charbon au rythme de 4 tonnes à la minute, sont maintenant incluses dans le cycle normal de production de ces mines. Ceci montre que le charbon peut être extrait de veines situées à de grandes profondeurs sans aucun risque et sans gêne pour les mineurs. Aucune raison technique ne s'oppose à ce qu'elles soient introduites à grande échelle dans les mines anglaises quoiqu'on soit directement con-

fronté au problème humain suivant : que deviendraient les mineurs si ce genre d'automation remplaçait partout les méthodes traditionnelles d'extraction du charbon ?

Voyons maintenant un exemple pris dans une industrie de traitement : la fabrication automatique de l'acier. L'automation très poussée de la fabrication de l'acier est entrée dans une phase tout à fait opérationnelle aux établissements Richard Thomas & Baldwins, à Newport, en Galles du Sud. On y trouve une des installations de fabrication de l'acier les plus modernes du monde. Cette usine fonctionne selon un système appelé ARCH (ARticulated Computing Hierarchy) mis au point par le groupe Elliott Automation. Dans ce système, une série d'ordinateurs hiérarchisés fonctionnent en parallèle avec l'organisation humaine constituée par le personnel de l'usine, de manière à maintenir la structure de direction habituelle. Mais l'expérience et l'habileté manuelle des hommes sont décuplées grâce à la précision et à la rapidité des ordinateurs. La quantité considérable d'informations nécessaires pour atteindre l'efficacité optimum du fonctionnement d'une usine de cette importance et de cette complexité ne pourrait pas être traitée par des méthodes traditionnelles. Le système ARCH permet au plan d'introduction de l'automation d'être exécuté pas à pas sans que les transformations en cours n'influent sur la production.

Dans le système complètement installé, l'ordinateur accepte directement les commandes venant du client et établit lui-même le programme de production de l'acier. Cette information est fournie à un deuxième ordinateur qui commande l'arrivée du lingot et subdivise les prévisions de production en commandes destinées respectivement à l'usine de traitement de l'acier et au laminoir. Il dirige aussi la transmission des instructions vers l'usine et en reçoit en retour des détails concernant l'avancement de la production à partir de claviers installés aux vingt points principaux de la production. Cet ordinateur reçoit également des données qui lui sont transmises automatiquement par des instruments équipant les machines. L'information digérée par le second ordinateur est alors transmise au premier, qui modifie à ce moment-là le programme original de production de manière à tenir compte des changements signalés. Sous la commande générale de ce qu'on appelle un programmeur d'usine, les ordinateurs hiérarchisés sont reliés aux autres usines Richard Thomas &

Baldwin, de manière à ce que des programmes de production optimum puissent être préparés pour l'ensemble de la société.

Maintenant, envisageons le cas de la commande automatique spéciale de machines-outils (voir fig. 48). Les machines-outils (ce sont les machines qui construisent d'autres machines) constituent la base de toutes les opérations de fabrication moderne et la définition de Diebold de l'automation pourrait être interprétée comme la commande électronique de machines-outils formant une ligne de transfert. La réalisation d'une seule traite de formes complètes en trois dimensions à partir de blocs de métal est une des opérations les plus coûteuses et les plus difficiles se présentant dans l'industrie. Les méthodes traditionnelles de fabrication de telles formes en grande quantité sont l'emboutissage, le forgeage ou l'estampage par l'utilisation de matrices spéciales. Avant 1925, de telles matrices étaient usinées avec un soin méticuleux par un mécanicien utilisant une machine à fraiser ordinaire, mais l'introduction d'une fraiseuse-copieuse marqua un pas en avant dans cette technique. Ces machines, utilisant des senseurs électriques et des *servomécanismes**, usinaient les matrices avec précision et automatiquement, hors d'un bloc d'acier très dur, à partir de modèles en bois, en plâtre ou en métal doux. Ces modèles avaient été réalisés par un ouvrier qualifié à partir d'un dessin.

L'étape finale dans l'automation de ce type de processus a été atteinte avec l'introduction, vers la fin des années 1950, du système de commande numérique Mark IV Ferranti. Ce système remplace la série d'opérations suivantes : dessin — ouvrier qualifié — modèle — mécanicien — machine-outil ; par un ordinateur numérique. Le programmeur transforme d'abord les données indiquées sur les dessins en une série de nombres qui représentent les coordonnées rectilignes d'un certain nombre de coupes, en même temps qu'il traduit les instructions commandant la vitesse de coupe et l'avancement de l'outil. Ces nombres sont codés et servent à établir une bande perforée qui est lue ensuite par un ordinateur numérique situé dans un centre d'informatique et convertie en instructions destinées à la machine et imprimées sur bande magnétique, allant jusqu'à fournir 3 heures/machine avec une même bande. La bande est placée sur une console de commande électronique complètement transistorisée et installée juste à côté de la machine-outil elle-même. Un simple interrup-

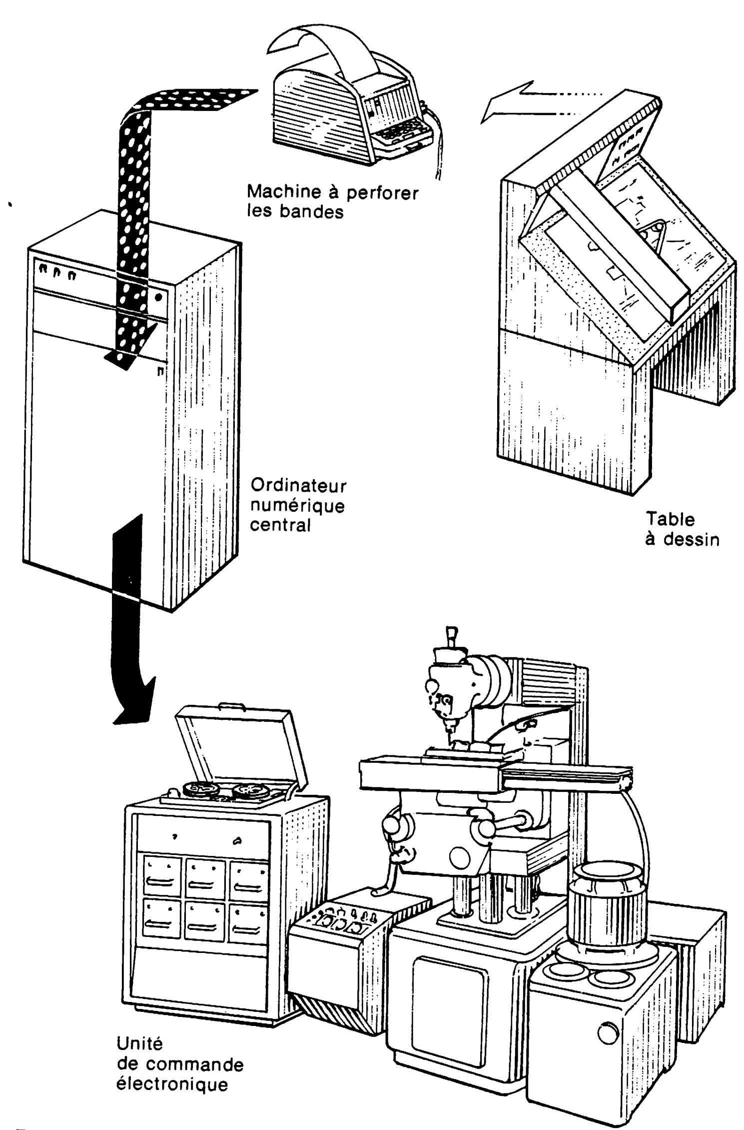


Figure 48. La commande numérique d'une machine-outil.

teur fait démarrer le cycle. Des servo-moteurs hydrauliques, d'une puissance suffisante et assez rigides pour tirer avantage du rythme rapide auquel est soumise la commande, suivent les instructions de la bande magnétique et déplacent en conséquence les parties coulissantes de la machine. Des réseaux optiques situés le long des parties coulissantes de la machine contrôlent à tout moment la position exacte de l'outil et permettent d'envoyer au centre de commande des signaux correcteurs afin de compenser toute erreur de transmission. La machine peut évidemment être programmée de façon à reproduire toute pièce déterminée autant de fois qu'il est nécessaire. Plus grande est la série de pièces fabriquées par la machine, plus grande est l'économie réalisée en heures/machine et en argent, comparativement au même travail effectué par un mécanicien expérimenté.

Le fait que j'ai pris les exemples précédents d'automation dans l'industrie britannique n'implique pas que la Grande-Bretagne soit plus avancée en matière d'automation que les autres pays. Dans les exemples particuliers que j'ai décrits, il apparaît clairement que, en ce domaine, la Grande-Bretagne est en tête, mais ces exemples ne sont pas représentatifs de l'industrie britannique qui se montre très lente à tirer avantage des systèmes de commande électronique très avancés déjà actuellement disponibles. L'Europe occidentale se met aussi à l'automation. Je pourrais citer ici quantité d'exemples. Néanmoins, cette adaptation se fait à un rythme trop lent. En 1967 une mission du département du Commerce américain a visité l'Allemagne, la France, l'Italie, la Belgique et la Suisse. Son rapport souligne que les chefs d'entreprise de ces pays s'intéressent à l'automation sans en saisir la portée. Les causes de cette situation sont le conservatisme et le manque d'information au sujet des prix.

L'usage croissant des techniques telles que celles que j'ai décrites, marque la première étape de la nouvelle révolution industrielle. Le niveau d'automation le plus avancé a été atteint par les industries de traitement (telles que les industries de l'acier, du pétrole et l'industrie chimique) dans lesquelles les matières premières sont traitées sans interruption depuis le moment où elles entrent dans l'usine jusqu'au moment où elles en sortent sous forme de produits finis. Il semble probable que, dans une décade environ, ces usines seront intégrées dans des ensembles automatiques très avancés qui comprendront l'extraction automatique de

la matière première de la mine, son traitement automatique et la distribution automatique des objets finis au consommateur. Les pays dans lesquels l'automation des industries de traitement est la plus avancée sont les Etats-Unis, l'Union Soviétique, la Grande-Bretagne, la Suède, l'Allemagne et la France.

Les industries productrices d'énergie, qui comprennent les centrales nucléaires et hydrauliques produisant de l'électricité, suivent le même chemin que les industries du traitement des matières premières vers l'automation intégrale. L'industrie automobile, spécialement aux Etats-Unis, en France et en Grande-Bretagne, repose aujourd'hui pour une large part sur l'usinage automatique, encore que l'assemblage automatique soit moins avancé. L'industrie alimentaire, celle de la mise en bouteilles, de la fabrication de vêtements, les blanchisseries, l'industrie des matières plastiques, etc., ont atteint un degré considérable d'automation.

La commande électronique de machines-outils est très répandue aux Etats-Unis ; plus de la moitié des grandes machines-outils actuellement construites aux Etats-Unis sont commandées numériquement. En Grande-Bretagne, la proportion est beaucoup plus faible, en dépit du fait que des systèmes de commande d'excellente qualité y sont mis au point. Dans le bloc soviétique, la proportion, réduite pour le moment, semble croître.

L'automation au bureau est fort développée aux Etats-Unis, mais le traitement électronique de l'information (qui comprend les ordinateurs et leurs équipements périphériques) accomplit de rapides progrès dans la plupart des pays d'Europe occidentale et en Grande-Bretagne ; il y a beaucoup de chances que le bureau tout-électronique se généralise avant l'usine automatique. Cependant, on doit garder présent à l'esprit le fait que le travail à l'usine et le travail au bureau deviennent de plus en plus similaires au fur et à mesure que s'accroît l'automation.

L'automation a également exercé un impact sur beaucoup d'autres activités sociales (transports, communications, éducation, médecine, par exemple) mais ces sujets seront discutés dans les chapitres ultérieurs.

Oui, la seconde révolution industrielle a vraiment commencé ! Elle a déjà créé un certain nombre de problèmes sociaux, politiques et économiques que nous risquons d'ignorer pour notre malheur, aussi vais-je en parler maintenant.

Quelques problèmes humains posés par l'automation

Tout comme les différentes classes de la société du XIXe siècle opposèrent une résistance à l'idée de remplacer la force musculaire par des machines, on s'élève aujourd'hui contre l'idée de remplacer l'homme qui dirige la machine par l'électronique. Beaucoup de gens ont de très bonnes raisons pour étayer leurs craintes : ceux, par exemple, qui ont acquis une expérience dans une industrie déterminée, après un long apprentissage, et qui voient maintenant leur travail effectué par des boîtes remplies de gadgets. D'autres ont des arguments moins rationnels pour appuyer leurs objections. Une croyance très répandue, que j'ai entendue aussi bien dans la bouche de gens très cultivés que de personnes frustes, est que dans l'industrie l'homme fera toujours un meilleur travail que la machine dans nombre de cas.

Norbert Wiener, Stafford Berr et d'autres encore ont souligné qu'utiliser des hommes pour servir de cerveaux aux machines est un gaspillage du matériel humain. En ce qui concerne l'esprit d'initiative et les possibilités d'adaptation, le cerveau humain est supérieur à tout appareil artificiel inventé jusqu'ici, mais il est bien moins doué que ne le sont les appareils électroniques pour superviser les processus industriels se répétant indéfiniment ; en outre, le cerveau humain est beaucoup plus lent et beaucoup moins précis. Un homme qui dirige une machine et ne pense à rien d'autre qu'à une série, quelque longue ou compliquée qu'elle soit, d'activités précises consistant à pousser des boutons et à abaisser les leviers, est véritablement un « pauvre type ». Beaucoup de gens ont quantité de sujets plus enrichissants auxquels songer, comme leur famille, leur passe-temps, la politique, la musique et les arts, l'élargissement de leur culture générale, leurs vacances et je ne sais quoi encore : ces réflexions les distraient de leur travail. L'ordinateur ne pense à rien, sauf aux opérations pour lesquelles il est programmé et n'oublie rien qui les concerne. Les appareils électroniques d'une usine ne se fatiguent jamais, ne s'ennuient jamais ou n'ont jamais faim. Ils peuvent travailler parfaitement dans des conditions que des êtres humains trouveraient intolérables. Néanmoins, il existe une méfiance générale envers cette « machinerie », spécialement envers cet arsenal complexe de gadgets électroniques qui sûrement, diront

les sceptiques, sont faits pour tomber en panne. Il est vrai que toute machine et tout appareil électronique peuvent se détraquer et tout système peut être sujet à une panne, mais il en va de même pour les êtres humains, et il est plus facile de se préparer à pallier la défaillance de la machine que la défaillance humaine.

Si nous voulons chiffrer ceci, nous devons nous rappeler qu'il y a dans le cerveau humain dix mille millions de *neurones** et que même l'opération de commande la plus compliquée ne demande pas la mobilisation de plus d'une centaine de ces neurones ; si même il en fallait plus pour une opération donnée, le cerveau humain peut faire appel à autant de neurones qu'on veut. De même, si tout neurone, ou groupe de neurones est instable ou fonctionne anormalement, des neurones de réserve peuvent entrer en action aussi souvent que nécessaire. Un équipement électronique peut être conçu de manière à ne présenter qu'un risque de panne très réduit, en ayant seulement une fraction réduite de ce nombre d'éléments en réserve. Le lecteur se rappellera que les éléments de circuits de micro-électronique décrits au chapitre 3 peuvent déjà être fabriqués en des dimensions si minuscules que 600 d'entre eux n'occupent qu'un centimètre cube. Par mesure de précaution, on peut même dédoubler plusieurs fois les éléments du circuit sans que cela présente aujourd'hui de sérieuses difficultés. Déjà on entrevoit des systèmes de commande automatique qui assureront leur propre entretien, tout comme ils se gouverneront eux-mêmes. Lorsque ce but sera atteint, le personnel d'entretien très expérimenté sera à mettre dans le même bateau que les mécaniciens qualifiés ; il n'est pas trop tôt pour réfléchir où nous mène ce bateau. Cette méfiance invétérée envers tout système inanimé agissant sans guide humain est, je pense, assez universelle et cette méfiance est capable d'entraver l'utilisation de l'automation où son utilisation est souhaitable d'un point de vue technique et économique. Elle est en outre responsable du mauvais emploi que l'on fait de cette automation. Le pilote automatique est indispensable aux avions modernes. L'atterrissage par temps de brouillard peut être maintenant exécuté en toute sécurité grâce aux systèmes d'atterrissage automatique, tandis que cette manœuvre serait extrêmement hasardeuse si l'on devait se reposer sur les capacités du pilote, si grandes soient-elles. Cependant, combien d'entre nous accepteraient sereinement de voler

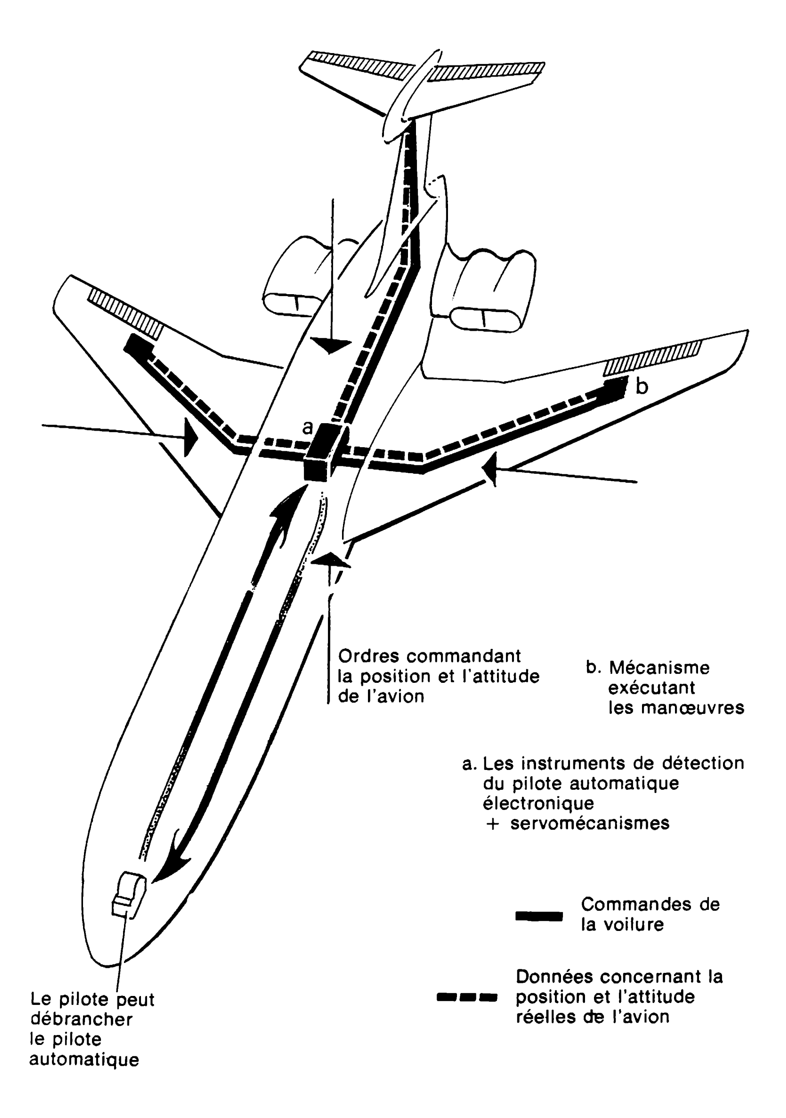


Figure 49. Le principe du pilote automatique.

dans un avion *sans* pilote humain ? (voir fig. 49).

La répugnance à abandonner l'entièreté du contrôle d'un système à des appareils automatiques est souvent appuyée par des arguments, non seulement de la part de profanes, mais aussi de la part de directeurs d'entreprises, d'ingénieurs et de savants, pour justifier une utilisation timide de l'automation. Ces autorités soulignent que, puisque ces machines ne peuvent penser par elles-mêmes, elles doivent par conséquent toujours rester sous la direction éclairée d'êtres humains. On pourrait plus justement tenir un autre raisonnement : le but ou l'objectif de tout système d'automation est fixé par des êtres humains ; des ingénieurs et des mathématiciens conçoivent le système automatique qui permettra d'atteindre cet objectif de la manière la plus efficiente possible. Souvent, le problème technique posé par la conception du système est si complexe qu'aucune solution théorique ne peut être trouvée et qu'il faut passer par un système expérimental se gouvernant lui-même pour découvrir la meilleure solution et recueillir des données indispensables à une étude théorique. Durant le stade expérimental, les inventeurs et les ingénieurs peuvent intervenir à toute étape du processus. Les observations et les mesures qu'ils effectuent sont enregistrées au fur et à mesure. Mais une fois que l'objectif est atteint et le problème de conception résolu, toute observation, action ou décision humaine utilisée auparavant, peut être remplacée par des instruments automatiques beaucoup plus efficaces, de sorte que chaque cycle du processus atteigne avec précision l'objectif visé. Des hommes continuent cependant à être intégrés dans des ensembles qui ne sont encore ainsi que semi-automatisés, parce que certains appareillages ne sont pas encore disponibles ou peuvent ne pas convenir pour certains travaux ou parce que des ouvriers reviennent moins chers que tels appareils ou parce qu'une décision délibérée a été prise de maintenir ces salariés dans leur emploi pour des raisons politiques et sociales. Dans d'autres cas, ce sera parce que les directeurs, pas plus que les ouvriers, ne veulent abandonner aucune de leurs fonctions à des gadgets électroniques, ou à cause d'une inertie généralisée ou enfin, simplement pour « embêter le monde ».

Je ne veux pas prétendre que tout but assigné à l'automation peut être atteint par le fait seul qu'il a été formulé. Par exemple, j'imagine que toute tentative pour construire un système qui

produirait automatiquement une centaine de tableaux différents destinés à être acceptés par l'Académie royale de peinture, serait un gaspillage de temps et d'argent. Le choix préalable et la formulation d'objectifs valables à atteindre grâce à l'automation sont des conditions nécessaires quoiqu'elles ne soient pas suffisantes. (Mais même un objectif impossible à atteindre vaut plus qu'aucun objectif du tout, car les raisons d'échecs au cours de tentatives pour atteindre un but donné peuvent se révéler très instructives.) Le choix d'objectifs « valables » pour l'automation dépend de facteurs économiques et sociaux aussi bien que techniques, et la puissance de l'automation est telle que ces facteurs doivent être considérés, non seulement en rapport avec les intérêts d'un fabricant particulier ou d'un groupe déterminé de consommateurs, mais aussi en rapport avec les intérêts de toute une industrie ou même à l'échelle de l'économie nationale ou, finalement, en fonction des besoins de la population du monde entier.

Pour illustrer ceci, considérons le cas de l'assemblage automatique des montres en Union Soviétique. Les premières réalisations ne constituent qu'une petite partie du plan officiel soviétique en vue d'automatiser la totalité de la production industrielle, et elles semblent avoir remporté un succès considérable. Sir Leon Bagrit souligne, dans la série de conférences dont j'ai déjà parlé, que le temps mis par les Russes pour assembler automatiquement des montres équivaut aux 2/3 du temps normal nécessité en Suisse et aux 3/4 du temps nécessité en France. On peut dès à présent acheter des montres russes en Europe à des prix inférieurs à ceux des montres suisses et françaises pour une qualité équivalente, de sorte que déjà l'industrie horlogère européenne est touchée. Les Russes ne poussent pas à l'exportation de leurs produits manufacturés, mais si un pays tel que le Japon suivait leur exemple et développait une industrie horlogère automatisée, nous pouvons être certains que les firmes européennes seraient contraintes de s'automatiser rapidement et un grand nombre de montres à prix réduits feraient leur apparition sur les marchés mondiaux. Mais qui achèterait toutes ces montres sortant par millions des usines automatiques ? Il ne fait aucun doute que le paysan sous-alimenté d'Asie serait très heureux de posséder une montre, à condition qu'on la lui donne gratuitement. Peut-être serait-ce de bonne politique de la part des nations riches de pro-

duire des montres dans ce but ? Mais il est évident que cela transformerait de fond en comble le but et l'objet de la production industrielle des pays développés.

Le problème le plus immédiat et le plus menaçant résultant de l'introduction de l'automation en industrie, est le chômage. Tout le monde est d'accord sur les bénéfices matériels que l'automation pourrait apporter à l'humanité, mais il y a un grand désaccord, pour ne pas dire un grand désarroi, concernant la question de savoir si elle va occasionner le chômage sur une grande échelle. Un échantillonnage caractéristique des espoirs et des craintes a été présenté lors d'une conférence intitulée « Le défi de l'automation » tenue à Duisburg au début de 1965. Douze mille hommes d'affaires y assistaient. Le Dr Louis T. Rader, vice-président et directeur général de la division de l'électronique industrielle de la General Electric Company, leur révéla que les firmes américaines en étaient arrivées à un point où elles devaient recourir à l'automation si elles voulaient soutenir avec succès la concurrence aussi bien sur le marché national que sur les marchés étrangers : « Les Etats-Unis, pays dont l'économie est basée sur l'industrie, sont en train de s'automatiser parce que nous y sommes obligés afin de maintenir notre standard de vie et notre balance commerciale. » L'expérience américaine durant les quinze dernières années a montré qu'il existe une relation entre automation et croissance économique ; les firmes qui ont adopté l'automation se développent, augmentent leurs bénéfices et, contrairement à ce qu'un vain peuple pense, créent des emplois nouveaux, souligna le Dr Rader. Mais le Dr Friedrichs, membre de la I.G. Metall, le syndicat le plus puissant d'Allemagne, proclama que, entre 1958 et 1963, en Allemagne plus d'un quart de million d'ouvriers ont perdu leur emploi à cause de l'automation. Il cita le cas d'une firme où, après l'introduction des nouvelles méthodes, 300 seulement des 800 ouvriers qualifiés qui y travaillaient demeuraient encore nécessaires à la bonne marche du travail et le reste fut affecté à des postes de qualification inférieure et leurs salaires, réduits. Herr Sabel, président de la Bourse fédérale du travail, nia que la diffusion de l'automation menace le plein emploi. Herr Berg, président de la Fédération des industries allemandes, prétend que l'automation, en soi, n'est ni bonne ni mauvaise et que la mission échoit aux patrons, en collaboration avec les travailleurs, de s'assurer que cette mutation s'accomplit en vue de

fins économiques et sociales valables. Le professeur Mikat, ministre de l'Education de Nord Rhein-Westphalie, quant à lui, dit qu'il apparaît clairement que l'automation exige une réadaptation professionnelle et un recyclage permanent.

La crainte de l'automation apparaît en filigrane dans toutes les discussions que ce soit en Allemagne, en Amérique ou dans d'autres pays capitalistes. Elle hante spécialement les ouvriers qui se souviennent de la dépression économique d'avant-guerre, caractérisée par un chômage important et une misère généralisée dus aux mesures de rationalisation prises à l'époque. En dépit des efforts faits par beaucoup d'experts tels que le Dr Rader pour nous rassurer, je pense que ces craintes sont fondées. A Detroit, lieu de naissance de l'automation, en 1965 un même nombre d'automobiles a été fabriqué qu'en 1963, avec un sixième des ouvriers en moins. L'automation n'a pas créé d'emplois nouveaux dans l'industrie automobile, et en considérant l'ensemble de l'économie américaine, il ne semble pas que le nombre d'emplois ait augmenté puisque le noyau de chômeurs aux Etats-Unis est aussi difficile à réduire que d'habitude. La diffusion généralisée de l'automation sans plan à grande échelle pourrait conduire dans le futur immédiat à une période de conflits et d'agitations, en comparaison desquelles les horreurs et les misères de la première révolution industrielle sembleront avoir été une partie de plaisir.

Si elle est peut-être néfaste à court terme, par contre à long terme l'automation libérera les hommes des travaux pénibles, dangereux et dégradants ainsi que des travaux de bureaux ennuyeux et fastidieux. En même temps, elle permettra de répondre aux besoins d'une population mondiale en pleine expansion.

Si un système politique est incompatible avec l'adoption généralisée de l'automation, ce système est appelé à disparaître. En fait, le problème important de l'avenir, soulevé par l'automation, est celui-ci : à quoi l'homme libéré du laminoir, de l'usine et du bureau va-t-il occuper ses loisirs ?

Chapitre 8

L'ELECTRONIQUE ET LES TRANSPORTS

Je voyage légèrement, comme la lumière, c'est-à-dire comme voyage un homme qui veut se déplacer avec son corps, à cause de la valeur sentimentale qu'il lui attribue.

Christopher Fry : *The Lady's not for Burning.*

Une des caractéristiques de la vie moderne est la facilité avec laquelle nous nous déplaçons d'un endroit à un autre. La science et la technique nous ont donné les moyens de nous transporter nous-mêmes comme de transporter les marchandises jusqu'aux confins de la planète (et avant longtemps, peut-être, en n'importe quel endroit du système solaire) à des vitesses toujours plus élevées et en nombre toujours plus grand. On peut discuter la question de savoir si tous ces voyages contribuent à une plus grande compréhension entre les hommes et augmentent leur bonheur, mais il n'y a aucun doute que les voyages se multiplient en fréquence et en nombre. Il serait intéressant d'avoir devant les yeux les chiffres (s'ils étaient disponibles !) indiquant le nombre total de « kilomètres/hommes » couverts chaque année par l'ensemble de la population mondiale grâce à tous les modes de transports actuels. Le rythme de croissance de ce total annuel s'accélérerait sûrement de façon vertigineuse au XXe siècle puisqu'il serait fonction de la croissance rapide de la population mondiale comme de l'augmentation considérable tant de la vitesse que de la capacité des moyens modernes de transport.

D'après certains calculs, les personnes parcourant un long trajet journalier de leur résidence à leur lieu de travail situé en ville ou dans les centres industriels, occupent ainsi entre un dixième et un quart du temps durant lequel ils ne dorment pas.

Cependant, ces trajets ne satisfont en aucune façon leur appétit de voyage puisque un nombre toujours plus grand d'entre eux prennent leur voiture les jours de congé et se joignent au flot de promeneurs motorisés ! En parallèle avec ces voyages provoqués par le travail et par les loisirs, on constate une augmentation correspondante dans le transport des marchandises, souvent le long des mêmes routes, des mêmes voies aériennes ou maritimes qui servent aux déplacements des personnes.

Cet accroissement énorme de la densité et de la rapidité de toutes les formes de trafic exige, dans le domaine des transports, une coordination, une planification et un contrôle sur une base locale, nationale et internationale. Ces exigences ne paraissent pas compatibles avec les intérêts déjà établis, partagés entre de multiples organisations s'occupant de transports. Par manque de coordination, les transports publics sont gênés dans leurs déplacements par les transports privés. Transporter à bon marché, rapidement et en toute sécurité gens et marchandises, voilà une mission qui deviendra bientôt impossible à accomplir si on laisse ainsi, sans s'y opposer, s'établir l'anarchie dans le domaine des communications. Devant cette situation, l'électronique, qui joue déjà un rôle essentiel dans les transports aériens, devient chaque jours plus indispensable à la régulation des problèmes des transports de surface. Bien plus, elle offre la seule solution pour sortir de l'impasse et éviter le chaos final vers lequel nos transports se dirigent en droite ligne.

Les transports aériens

S'il fallait fournir une preuve supplémentaire du rôle capital joué par l'électronique dans notre vie, il suffirait de considérer le cas de l'aviation. Chaque phase de la conception, de la construction, de l'expérimentation, de l'exploitation, de l'entretien d'un avion repose sur l'électronique. Les exemples qui vont suivre ne font qu'évoquer les différents stades au cours desquels l'électronique intervient en pratique. Des machines-outils, commandées numériquement comme celles décrites au cours du chapitre sur l'automation, se sont révélées irremplaçables pour la production de

moteurs et de pièces pour avions. Par exemple, la fabrication très précise des matrices à emboutir les coiffes de protection des turbines est réalisée par Rolls-Royce au moyen d'un tour vertical à trois dimensions commandé par bande magnétique, tour qui peut atteindre une précision de huit millionièmes de millimètre. L'ordinateur utilisé pour calculer les dimensions de la coiffe réalise lui-même la bande qui transmet les instructions au tour, éliminant ainsi la nécessité de recourir à des dessins ou à des gabarits et rendant l'intervention de mécaniciens hautement spécialisés superflue.

Celui qui a déjà jeté un coup d'œil dans le cockpit d'un avion de ligne moderne comprendra aisément les difficultés rencontrées pour disposer devant les yeux du pilote tous les appareils lui fournissant les informations qui lui sont indispensables. Le pilote est véritablement envahi par une foule d'instruments qu'il doit pouvoir surveiller tous. Ce problème a été sérieusement étudié par le Royal Aircraft Establishment à Farnborough (Grande-Bretagne) et il semble qu'on y ait trouvé aujourd'hui une solution satisfaisante, solution basée sur le recours à un tube à rayons cathodiques. Celui-ci permet de résoudre les problèmes d'affichage les plus complexes. Il surpasse de loin tout système mécanique et l'avènement récent d'un tube à haute luminosité, qui peut être employé quelles que soient les conditions d'éclairage, supprime la seule objection à son emploi (voir fig. 50).

Les grands avantages du système électronique ont été démontrés par des modèles réalisés par le R.A.E. et qui fonctionnaient effectivement. Par exemple, les instruments, tels que l'indicateur de vitesse de l'air et l'altimètre donnant la hauteur par rapport au sol, ne fournissent qu'une partie limitée de toutes les indications dont le navigateur devrait théoriquement disposer, parce qu'il n'est pas possible d'augmenter le nombre d'indications fournies sans surcharger d'instruments l'espace devant le pilote. Toute indication de hauteur peut être indiquée clairement sur une section réduite de l'écran du tube cathodique. L'affichage des informations sur l'altitude par rapport au niveau de la mer, l'inclinaison, le souffle de l'hélice, l'altitude par rapport au sol, la vitesse de l'air, qui demanderaient normalement six instruments séparés, peut se faire de manière à ne plus occuper que quelques centimètres carrés de l'écran. Ces informations seraient ainsi beaucoup plus faciles à lire et à interpréter. Les systèmes électro-

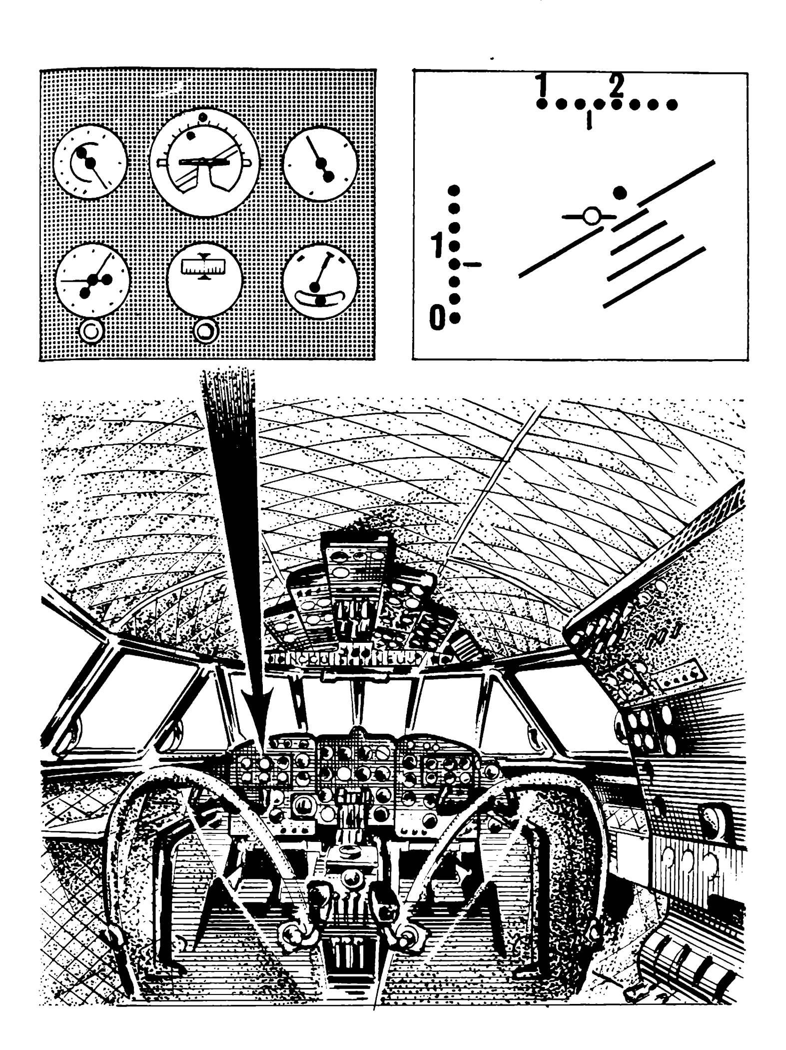


Figure 50. L'électronique dans un avion de ligne moderne : toutes les informations données par les multiples instruments du tableau de bord, que l'on voit en haut à gauche, peuvent être saisies d'un seul coup d'œil sur le dispositif d'affichage que l'on voit en haut à droite. (Reproduit avec l'aimable autorisation de la Hawker Siddeley Aviation Ltd.)

niques d'affichage rendent aussi possible le « temps partagé » : un programme simple peut être réalisé qui sélectionnerait les informations destinées à être affichées à des moments donnés d'un vol, de façon que la même surface de l'écran puisse être utilisée plusieurs fois. Ainsi, des informations relatives au train d'atterrissage qui occupent actuellement en permanence un espace déterminé sur un panneau surchargé d'instruments, seraient présentées sur l'écran juste le temps nécessaire, au commencement et à la fin du vol. En outre, on pourrait gagner de la place avec différents dispositifs d'affichage superposés de manière optique et mis l'un derrière l'autre : ils pourraient aider à résoudre le problème de dispersion des indications qui provoque une grande fatigue pour le pilote dont l'attention est attirée de différents côtés car les informations occupent en permanence une même surface. On aurait également avantage à présenter successivement les informations sur un même écran : elles peuvent ainsi s'inscrire en de plus grandes dimensions et donc être lues plus facilement.

Le 10 juin 1965, au cours d'un vol régulier Londres-Paris, un avion Trident de la compagnie British European Airways, transportant 38 passagers, se posait gracieusement sur l'aéroport de Londres, accomplissant un atterrissage parfait. Comme l'avion faisait taxi jusqu'à l'aire de débarquement, le chef pilote s'adressa aux passagers par le système intérieur de communication : « J'ai une nouvelle importante à vous annoncer. Cet atterrissage a été tout à fait différent des atterrissages précédents. Vous êtes les premières personnes au monde à avoir atterri grâce à un système entièrement automatique. Un nouveau pas est accompli vers l'atterrissage par n'importe quel temps. » La partie de l'atterrissage qui avait été réellement réalisée automatiquement était la partie finale débutant à une altitude de vingt mètres au moment où le nez de l'appareil commence à se relever jusqu'à l'instant où l'appareil touche le sol. Cette manœuvre avait été rendue possible grâce à un système électronique appelé « Autoflare ». Le système repose sur l'utilisation d'un radio-altimètre très précis et offrant une grande sécurité, fabriqué par la Standard Telephones et qui transmet à un pilote automatique des informations sur la hauteur à laquelle se trouve l'avion. Grâce à ce système, les manœuvres se succèdent correctement à la bonne vitesse de descente, de sorte que l'atterrissage s'effectue convenablement. Au-dessus de vingt mètres d'altitude, le pilote gouverne manuellement l'avion en le

dirigeant en azimuth ; il est aidé par les renseignements obtenus grâce aux antennes de localisation situées en bout de piste. Mais on espère que, dans quelques années, un système de guidage automatique aura également l'approbation des instances officielles de sorte que l'atterrissage complètement automatique tout comme le vol entièrement automatique seront alors réalisés.

Depuis les premiers jours des transports aériens civils, les conditions météorologiques ont toujours posé de sérieux problèmes. Mais aujourd'hui se pose un problème beaucoup plus important : de quelle façon réduire l'encombrement des aéroports et même des couloirs aériens ? La manière dont l'électronique est mise à contribution pour résoudre ce problème, est illustrée par deux applications récentes. La première est une nouvelle version du système de navigation Decca pour la navigation à courte distance, appelé HARCO (Hyperbolic ARea COverage), conçu pour la couverture de zone et la séparation latérale des avions pouvant voler très près l'un de l'autre, particulièrement dans les régions où le trafic atteint une forte densité. Ce nouveau système offre une caractéristique intéressante : il emploie le petit ordinateur bon marché et ultra-léger appelé Decca-Omnitrack, qui relie le récepteur radio à un dispositif d'affichage de position et traduit les coordonnées hyperboliques du système original en coordonnées rectilignes. En clair, cela signifie que la position d'un avion en vol peut être dorénavant inscrite sur une carte conventionnelle au lieu d'être inscrite sur la projection déformée du système Decca. Afin d'arriver à ce résultat, l'ordinateur Omnitrack effectue tous les six dixièmes de seconde 19 multiplications, 14 additions, une division et extrait une racine carrée.

Le second exemple de l'aide que peut apporter l'électronique au contrôle de la circulation aérienne est fourni par un nouveau système automatique d'indication d'altitude pour avion qui a été testé par l'Agence fédérale d'aviation des Etats-Unis. Dans ce système, l'équipement monté à bord de l'avion comprend un transducteur anéroïde — un appareil pour mesurer l'altitude, similaire au radio-altimètre — qui envoie le signal indiquant l'altitude à un ordinateur situé à bord ; celui-ci convertit ce signal en une série d'impulsions électroniques. Quand l'avion est « interrogé » par une station au sol, son émetteur « transpondeur » — un appareil capable de transmettre un signal codé lorsqu'il reçoit un signal d'interrogation convenu — est mis en marche et il

envoie les impulsions codées vers la station au sol. L'information apparaît alors sur l'écran du contrôleur radar : à côté de la tache produite par l'écho radar de l'avion s'inscrit l'altitude de l'avion, indiquée en centaines de pieds.

Un autre aspect de l'utilisation de l'électronique dans le transport aérien est illustré par PANAMAC, un vaste réseau de réservation travaillant à l'aide d'un ordinateur électronique, mis en service par la Pan American Airways au début de 1965. Ce réseau se compose de deux parties : une section de travail et une section de stockage de l'information ressemblant à un meuble à classeurs. En outre, il utilise 265 000 km de câbles sous-marins, de circuits-radio et de lignes télégraphiques qui composent le réseau de télécommunications de la Pan Am : le réseau relie les bureaux de la Pan American dispersés à travers le monde, à l'ensemble d'ordinateurs I.B.M. situés au Pan Am Building à New York. Dans chacun de ces bureaux, l'employé chargé de la réservation choisit une carte dans un classeur, l'insère dans la fente de sa console, pousse sur des boutons, inscrit au moyen d'un clavier le numéro du vol et les renseignements nécessaires, et presse ensuite un bouton pour demander s'il reste une place libre pour le vol en question. L'ordinateur situé à New York, en un éclair, passe en revue les réservations déjà enregistrées et répond : « Oui, il reste une place ». Ce message est envoyé à travers océans et continents à l'employé qui presse alors un bouton marqué « vendu ». L'ordinateur à New York enregistre la réservation et transmet automatiquement la confirmation de la vente du billet par le truchement d'un téléscripteur électrique qui fait partie de la console de l'employé. Celui-ci tape le nom du passager, son adresse et son numéro de téléphone sur le clavier du téléscripteur. Ces informations sont transmises immédiatement à New York où elles sont jointes à l'enregistrement de la réservation du passager. Un ticket est ensuite rédigé, et son numéro indiqué sur le téléscripteur. La transaction est ainsi conclue en moins de temps qu'il n'en faut pour le dire.

Ces perfectionnements en matière de micro-électronique et la production de circuits décrits au chapitre 3 offrant toute sécurité, rendront possible la commande entièrement automatique du vol. Au lieu d'agir comme les prolongements des sens des pilotes, des navigateurs et des contrôleurs au sol, les divers systèmes et instruments électroniques (radar, radio, télévision) transmettront

leurs informations à des ordinateurs qui prendront eux-mêmes les décisions. On aura recours au jugement humain comme solution de secours et pour faire face à des situations exceptionnelles. La tension et la fatigue des équipages et du personnel au sol qui constituent aujourd'hui un problème si préoccupant, seront éliminées. Grâce aux nouveaux circuits offrant peu de risques de panne, on pourra fabriquer des avions présentant une faible stabilité aérodynamique et qui seront par conséquent plus économiques, puisque la commande de l'appareil offrira toute garantie dans n'importe quelle situation.

Les transports maritimes

L'électronique, sous la forme des tout premiers émetteurs de radio, est apparue à bord des bateaux, bien avant leur installation sur les avions. Cependant, la majorité de l'équipement électronique moderne voguant aujourd'hui sur les mers a été conçue en tout premier lieu pour satisfaire les besoins les plus urgents de l'aviation militaire et civile et ceux de la marine de guerre. Toutefois, depuis la fin des hostilités, une partie de plus en plus importante de l'équipement électronique a été conçue et mise au point spécialement pour la navigation. Presque chaque vaisseau, quelles que soient ses dimensions, est équipé aujourd'hui d'un radar tout comme d'un émetteur-récepteur radio. Ces deux appareils ont considérablement accru la sécurité en mer et simplifié les problèmes de navigation. Le sonar (qui fonctionne d'après le même principe que celui du radar, mais qui utilise des ondes sonores au lieu d'ondes radio) donne aujourd'hui des informations sur ce qui se passe sous la surface ; les chalutiers l'utilisent désormais de manière intensive pour détecter les bancs de poissons. Le « marine data logger », une sorte d'homme de quart électronique, permet d'apprécier à quelle échelle l'électronique est utilisée dans la marine marchande. Un des appareillages les plus perfectionnés de ce genre, conçu par l'English Electric, a été monté à bord d'un nouveau cargo réfrigéré de 8 000 tonnes, le *Zealandic*. Il est installé dans la chambre des machines et possède son propre système de contrôle thermique. Il surveille en perma-

nence 350 points différents des moteurs et des machines auxiliaires, de l'équipement de réfrigération et des chambres réfrigérées. A chaque changement de quart, l'appareil fournit automatiquement un rapport complet de ce qui s'est passé en chacun de ces 350 points. Lorsque quelque chose d'anormal se passe, l'appareil sonne immédiatement l'alarme en actionnant un klaxon, en allumant une lampe d'avertissement et en imprimant un rapport d'urgence contenant tous les détails permettant de localiser la panne et de déterminer le moment auquel elle est survenue.

Considérée au point de vue du contrôle de la circulation, la navigation maritime est, en général, un problème beaucoup moins complexe que celui de la navigation aérienne. On se demande toutefois s'il sera toujours nécessaire de mettre au point des bateaux capables de parcourir plus de cent nœuds à l'heure. Et pourtant il n'y a que deux dimensions à considérer lorsque l'on veut déterminer la position d'un bateau en mer. A cet accroissement de la vitesse, on peut opposer l'idée suivante : un bateau est habituellement beaucoup plus gros qu'un avion, moins maniable et les collisions se produisent quasi immanquablement dans les voies de navigation très encombrées. Dans la Manche, qui est un des endroits les plus encombrés de toutes les mers du globe, le risque de collision est devenu un problème sérieux et le radar est maintenant considéré comme indispensable pour tous les bateaux qui naviguent dans cette région, que ce soit par temps de brouillard ou par temps clair. Il ne fait aucun doute pour moi que, avant longtemps, les grands bateaux entrant dans de telles zones encombrées, seront dirigés à partir des stations côtières au moyen du radar et de la radio comme le sont actuellement les avions à partir des tours de contrôle des aéroports. Le pilote de l'avenir sera électronique.

Les transports terrestres

Le contrôle électronique des diverses formes de transports de surface n'est pas aussi poussé que l'est celui de la circulation aérienne, mais l'électronique a déjà été mise de diverses manières

au service des transports terrestres et son importance dans ce domaine ne cesse de croître rapidement. Je ne tenterai pas d'établir une liste de toutes les applications actuelles et futures de l'électronique en matière de transports terrestres. Je me contenterai de sélectionner quelques exemples afin d'illustrer des tendances actuelles, en me référant particulièrement au domaine de l'automobile.

La S.N.C.F. (Société Nationale des Chemins de fer Français), l'un des réseaux ferroviaires du monde les mieux organisés, utilise déjà la commande automatique des trains basée sur les techniques de l'électronique. Cette automation atteint des proportions considérables et ne cesse de croître. Le réseau de la S.N.C.F. est presque entièrement électrifié ; l'automation est la suite logique de cette électrification.

La ville de New York de son côté exploite, depuis le début de 1962, un train électrique sans conducteur. Il fait la navette entre les stations de Times Square et Grand Central, soit une ligne d'environ 800 mètres. La vitesse du train, le freinage, l'accélération, la durée des arrêts, l'ouverture, la fermeture des portes s'effectuent entièrement automatiquement suivant les instructions d'une bande perforée placée dans l'unité de commande. Néanmoins, à la station Grand Central se trouve un surveillant qui suit le déroulement des opérations et est prêt à prendre en main à tout moment le contrôle du système. Autres exemples : le métro de Mexico et le Réseau Régional Express (R.E.R.) parisien ont un point commun ; ils seront commandés par ordinateur mais chaque train gardera un conducteur. En outre, le R.E.R. (qui va de Saint-Germain-en-Laye à Boissy-Saint-Léger) utilise une nouvelle méthode de perception et de contrôle des billets entièrement automatique qui a recours à des ordinateurs. Le prix des billets est établi en fonction de la distance à parcourir et il est tenu compte des différents tarifs (première et deuxième classe, familles nombreuses, cartes hebdomadaires ou d'étudiant, etc.).

Le contrôle et le triage automatique des wagons de marchandises a déjà atteint un degré très avancé sur beaucoup de réseaux ferroviaires. Les chemins de fer britanniques ont mené, il y a quelques années, une expérience parfaitement réussie en utilisant un ordinateur pour commander la circulation des wagons de marchandises dans la région de Cardiff (Pays de Galles). A cette occasion, on découvrit qu'il était possible d'effectuer le

même travail avec 11 pour 100 de wagons en moins. Ces simplifications conduiront probablement à la mise en place d'un système de petits ordinateurs — un par district — alimentant un gros ordinateur central dans chaque région ferroviaire, de manière à contrôler la totalité du matériel roulant des chemins de fer britanniques.

Jusqu'ici, la principale application de l'électronique au domaine automobile a été la part prépondérante qu'elle joue dans l'automation de la production des véhicules. Au cours des dernières années, la direction automatique de cette production a été confiée à un ordinateur par les principaux constructeurs aux Etats-Unis, en France et en Grande-Bretagne. Si l'on considère le nombre de voitures fabriquées, ce fut plus qu'un succès, mais l'irruption de cette énorme quantité d'automobiles sur les marchés non planifiés des principaux pays producteurs d'automobiles, a eu quelques effets néfastes dont la plupart ne nous sont que trop familiers. Tous les modes de transport basés sur l'utilisation de combustibles d'origine fossile, tels que le charbon ou le pétrole, sont condamnés à se démoder tôt ou tard ; mais, puisque les réserves en pétrole sont probablement suffisantes pour un siècle encore, il coulera beaucoup d'eau sous les ponts avant que ne soit définitivement écartée la menace toujours croissante que constitue l'automobile pour la vie civilisée et pour notre bien-être.

Cependant, l'électronique peut nous aider à tirer le meilleur du pire en transformant les transports terrestres grâce à un contrôle efficace du trafic routier et à la direction automatique des véhicules individuels. Le système utilisé à Munich, en Allemagne, et basé sur l'emploi de l'ordinateur ARCH Elliot nous fournit un exemple de ce que pourrait être la commande électronique de la circulation. Le Stachus Square à Munich est réputé comme l'endroit où la circulation est la plus intense d'Europe. Toutes les rues conduisant à ce rond-point sont contrôlées par un système qui tient compte, minute après minute, de la situation d'ensemble du trafic. L'ordinateur garde également en mémoire l'horaire des tramways desservant sa zone d'action et il fait périodiquement rapport au centre des tramways de Munich, indiquant si l'horaire prévu est respecté.

Le système appliqué à Munich est très perfectionné par rapport au système habituel, mais le contrôle de la circulation au

moyen d'un ordinateur peut être poussé encore plus loin. A partir des informations concernant la situation du trafic lui parvenant automatiquement de différents points, l'ordinateur en une fraction de seconde règlera les feux de circulation de manière à obtenir un écoulement optimum du trafic. Il pourra compter le nombre de véhicules entrant dans la zone qu'il contrôle, que ce soit par des rues principales ou par des rues secondaires. En conséquence, il pourra prévoir les mesures à prendre pour maintenir sans interruption l'écoulement optimum du flot des voitures.

Un aperçu des réalisations accomplies dans la voie de la commande automatique des autos et des camions est donnée par un brevet récemment enregistré aux Etats-Unis. Ce brevet décrit un système de conduite automatique des voitures, qui permet de les guider électroniquement le long d'une route, sans qu'il y ait besoin de câbles encastrés dans le sol ou de marques spéciales peintes sur la route. Une fois l'automobile sur la route, le dispositif la guide automatiquement aussi bien le long des lignes droites que des courbes. Le dispositif repose sur l'emploi d'une mémoire électronique. Quand le chauffeur veut se reposer, il presse sur un bouton, mettant en service le pilote automatique composé d'un appareil explorateur qui scrute le paysage ainsi que les lignes blanches et les principales particularités de la route. Le chauffeur peut alors abandonner la direction de l'automobile à la machine. Si l'auto s'écarte de la bonne voie, un moteur électrique provoquera un léger braquage des roues, et si l'œil électronique aperçoit un obstacle se dressant devant la voiture (une autre voiture roulant à allure réduite par exemple) les freins se mettent automatiquement à fonctionner et un signal d'alarme avertit le conducteur. A tout moment, celui-ci peut reprendre le contrôle de la voiture, effacer ce qu'il y avait dans la mémoire ou y enregistrer à nouveau l'image de la route.

Les voyages sont-ils encore nécessaires ?

Les voyages considérés comme une fin en soi, pourraient bien constituer un des principaux moyens de détente et d'éducation de

la société future. Dans le sens le plus large du terme, lequel inclut voyager dans l'espace extra-atmosphérique et, peut-être, dans un futur éloigné, au-delà du système solaire, il constituera probablement une des activités les plus marquantes et les plus excitantes auxquelles s'adonnera la race humaine. Nous pouvons être sûrs que, quel que soit le succès que rencontreront les voyages extraterrestres, il n'y a aucun danger que les hommes ou leurs véhicules encombrent les vastes espaces séparant les étoiles. Mais sur la surface réduite de cette petite planète Terre, nous avons déjà dépassé la densité optimum de trafic qui permettrait de voyager agréablement sur terre, sur mer et dans les airs. Les techniques modernes du contrôle de la circulation permettraient de résoudre une grande partie du problème, mais les encombrements sur les routes et dans les villes, atteignent rapidement des proportions si vastes qu'ils menacent d'échapper à n'importe quelle espèce de contrôle. Dans le cas du trafic aérien, des experts ont calculé que les principaux aéroports du monde atteindront leur saturation vers 1975. Nous devons être de plus en plus attentifs pour réduire une partie des voyages qui ne nous offrent pas un minimum d'agréments. Tôt ou tard, nous devrons répondre à la question : tous ces voyages sont-ils vraiment nécessaires ? Une fois encore, la solution de nos problèmes ne peut être trouvée que grâce à un appel redoublé aux techniques électroniques. Puisque cette utilisation de l'électronique exercera une profonde influence dans un très proche futur, non seulement sur les voyages, mais sur l'ensemble de notre vie quotidienne, considérons-la plus en détail.

La journée-type d'une très grande partie de la population urbaine de notre monde — qui représente une partie en augmentation rapide de la population totale — est pour une grande part déterminée par la migration quotidienne entre les immenses zones suburbaines et les zones surpeuplées où sont situées la plupart des entreprises commerciales et industrielles. Jusqu'à récemment, on ne gardait que peu d'espoir de résoudre le problème d'une circulation chaque jour plus dense comme celui de l'insatisfaction générale qui en découlait, lorsque les gens se mirent à voyager aussi durant leurs loisirs et leurs vacances. Les télécommunications actuelles et les techniques du traitement de l'information sont arrivées à temps pour empêcher ce fléau moderne de submerger et de paralyser toute la société, et elles

constitueront en définitive les principaux remèdes à ce fléau. La révolution en matière de télécommunications décrite au chapitre 4 a non seulement engendré une augmentation vertigineuse du nombre de messages mais aussi, elle a accru la rapidité de transmission des messages indispensables à la société moderne, tout comme elle a permis d'en diversifier les types et d'en multiplier la complexité. Elle a rendu possible l'échange de ces messages sans déplacement de supports matériels ou d'objets. La technique qui a engendré le télégraphe, le téléphone et la radio et qui, par voie de conséquence, a permis des voyages confortables et sans danger, a également produit le récepteur de T.V. et l'ordinateur électronique qui commencent à freiner l'envie de voyager ou tout simplement de sortir le soir.

Les changements importants intervenus après-guerre dans la vie familiale et dans les loisirs trouvent une explication dans la télévision et constituent les débuts d'une révolution toujours en cours. Dans les cinémas, le nombre d'entrées, qui augmentait régulièrement avant l'avènement de la télévision, commença à diminuer ; en moins d'une décade, un nombre plus grand d'Américains et d'Européens ont vu des films chez eux, à la télévision plutôt que dans une salle de projection. Non seulement les cinémas, mais les théâtres et les stades virent leur nombre d'entrées diminuer en même temps qu'augmentait le nombre de téléviseurs. Beaucoup regrettent la passivité croissante et le manque de participation des auditoires qui ont choisi le divertissement électronique. Mais précédemment, ces mêmes auditoires participaient-ils vraiment de manière beaucoup plus active ? Dans le contexte actuel, la différence importante réside dans le fait que des millions de gens, qui regardent la télévision chez eux, ne viennent plus encombrer les routes ou surcharger les moyens de transports en commun.

A l'avenir, des réseaux privés de communications prendront un développement considérable parallèlement à celui des réseaux de distribution de l'énergie électrique. Les réseaux actuels du téléphone, de la radio et de la télévision laissent entrevoir quelle sera la situation lorsque, grâce à ces progrès, les humains pourront établir entre eux des communications personnelles en quantités inimaginables aujourd'hui. Dans une vingtaine d'années, tous les nouveaux bâtiments seront équipés de systèmes de télécommunications de tous types. Cet équipement sera considéré comme allant

de soi. Progressivement, un nombre toujours croissant de bâtiments existants seront reliés au réseau national de télécommunications. Chaque foyer disposera de sa petite console de commande. Des consoles centrales plus grandes et plus complexes, destinées aux immeubles à appartements et aux bâtiments publics, constitueront l'équipement nécessaire pour assurer les télécommunications à l'intérieur d'un édifice donné. Cet équipement comprendra des caméras de télévision et des écrans d'affichage, des microphones et des haut-parleurs, des appareillages d'enregistrement et de mise en mémoire, des circuits privés et d'autres servant à assurer la sécurité. Des systèmes de commande, actionnés par boutons-poussoirs ou au moyen de la voix, permettront de choisir entre une série de programmes de télévision et de radio aussi bien nationaux qu'internationaux répondant aux besoins et aux goûts de chacun.

Les installations téléphoniques actuelles seront améliorées de plusieurs manières : en plus de la possibilité d'être mis automatiquement en contact avec plus de 200 millions d'abonnés dispersés à travers le monde, un nombre croissant de vidéophones permettra aux interlocuteurs non seulement de s'entendre, mais de se voir. Des informations météorologiques, politiques ou d'intérêt général seront communiquées aussi bien de manière visuelle que sonore. Des librairies contenant des disques, des films, des enregistrements, des pièces de théâtre et des opéras, des livres, des peintures, etc., gérées par ordinateur, offriront à l'abonné, grâce à un appareil de reproduction relativement simple installé dans sa salle de séjour, n'importe quel document écrit, sonore ou visuel qu'il aura commandé. S'il le veut, un équipement permettra de mettre en mémoire ou de reproduire électroniquement n'importe quelle information transmise et de la fixer aussi longtemps que l'intéressé le désire. Il ne fait pas de doute que la plupart des abonnés seront satisfaits de connaître, à l'heure du petit déjeuner, le résumé des nouvelles, illustré de quelques images ou de voir apparaître sur leur petit écran les résultats de la course qui s'est déroulée la veille. Dès à présent, il existe à des prix relativement abordables, des magnétoscopes qui, comme les magnétophones pour le son, permettent d'enregistrer les spectacles de télévision, voire de les « stocker » en l'absence de l'amateur.

Quel que soit le but de toutes ces transformations — sans nous préoccuper de savoir si elles sont souhaitables ou non — il est

indubitable que les déplacements à effectuer pour accéder à toutes ces richesses seront réduits dans des proportions considérables. Cela va même beaucoup plus loin. Si nous regardons un peu plus avant dans l'avenir, au moment où la plus grande partie de la population mondiale disposera d'un « numéro de télécom » individuel, tous pourront se parler et chaque membre de la communauté humaine ne sera plus éloigné que de quelques micro-secondes de chaque autre individu. De plus, chacun pourra non seulement se référer à tout moment à un centre d'informations perpétuellement à jour contenant toutes les connaissances relatives à n'importe quel sujet, mais il pourra, en outre, poser des questions auxquelles il sera répondu de façon exacte et précise. Ce système pourra également servir pour l'enseignement programmé. Certes, les enseignants en chair et en os resteront indispensables, mais ils devront collaborer avec la machine. Quoique nous devions avoir des contacts physiques avec les objets pour apprendre certaines choses ou acquérir une habileté technique, une partie considérable du processus d'enseignement consiste essentiellement en une communication et en un échange d'idées. Beaucoup d'écoliers ont passé des heures infructueuses à progresser péniblement dans des écoles surpeuplées et lorsqu'ils auront atteint l'âge adulte, ils poursuivront peut-être leur éducation dans le confort de leur propre foyer grâce à ces nouveaux moyens d'informations qui seront alors à leur diposition.

L'introduction de l'automation dans le commerce et l'industrie, jointe aux possibilités offertes par les nouveaux moyens de communication, pourra aussi réduire le nombre de travailleurs obligés d'accomplir chaque jour de longs et pénibles trajets les conduisant le matin à leur travail et le soir, les empêchant de se remettre des fatigues d'une dure journée avant d'affronter à nouveau les conflits familiaux. L'organisation des villes futures, tout comme leurs dimensions, dépendront de nombreux facteurs, mais je pense qu'une bonne occasion de songer à limiter les dimensions des villes nous est offerte. Aucune ne devrait dépasser 200 000 habitants. La transformation de nos cités surpeuplées en villes indépendantes de cette dimension constituera, c'est clair, une aventure peut-être pénible, mais je pense que, finalement, nous pourrons atteindre ce but. Une fois celui-ci atteint, chaque membre de la communauté pourrait être relié avec tous les autres aussi bien par téléphone que par télévision.

Une fois le réseau de communication entré complètement en service, une grande partie du transport des marchandises aussi bien que la plupart des déplacements deviendraient inutiles. L'introduction de l'ordinateur n'a-t-elle pas déjà accéléré la tendance au traitement automatique des données complexes dont on a besoin pour gérer l'industrie, le commerce et l'administration, le stockage, la vente, etc ? Elle a augmenté le volume de transmission des données entre un bureau et une usine situés dans la même ville, ou dans des villes différentes d'un même pays, ou encore entre des firmes de pays séparés par des centaines ou des milliers de kilomètres.

Aujourd'hui, des hommes d'affaires accomplissent bien des efforts et dépensent beaucoup d'argent pour voyager à travers les océans et les continents, souvent pour ne discuter que quelques minutes avec d'autres hommes d'affaires. Quand les avions supersoniques entreront en service, il sera possible d'atteindre les antipodes en sept heures. Mais avec l'aide d'un réseau mondial de télécommunications, on pourra communiquer d'un point du monde avec un autre en quelques secondes moyennant beaucoup moins de dépenses et de fatigue. De la sorte, des réunions seront organisées entre délégués de pays de différents continents avec bien moins d'ennuis et de perte de temps que s'ils devaient encore tous se rassembler au même endroit.

Quoique ce but puisse ne pas être poursuivi consciemment, il est évident qu'une des principales conséquences de la révolution technologique sera la réduction considérable du grand nombre de voyages de routine auxquels nous sommes de plus en plus accoutumés et qui font le désespoir des urbanistes et des autorités compétentes. Quand cette révolution sociale commencera à se produire, voyager pour son plaisir redeviendra une occupation agréable. Détendus et déchargés de tout souci, les voyageurs pourront à nouveau jouir du charme principal des voyages : celui de pouvoir folâtrer en chemin.

Chapitre 9

L'ELECTRONIQUE ET LA GUERRE

La guerre ! C'est une chose trop grave pour la confier à des militaires.

Georges Clémenceau

Il n'existe pas de limite bien définie entre la technologie de la paix et la technologie de la guerre. La différence essentielle réside dans l'utilisation pratique qu'on en fait. L'électronique, la technique clé de notre époque, a révolutionné la façon de mener la guerre, tout comme elle a révolutionné la façon de poursuivre la paix. Les découvertes importantes en matière d'électronique, décrites dans les chapitres précédents, furent réalisées en temps de paix. Mais la croissance rapide de l'industrie électronique entre 1940 et 1950 est due aux exigences pressantes de la guerre. Le fait qu'aujourd'hui, quelque 75 pour 100 de la gigantesque industrie électronique des Etats-Unis sont consacrés à des applications militaires ne prouve pas, comme certains se l'imaginent, qu'il existe une sorte d'affinité entre l'électronique et la guerre. C'est simplement parce que le gouvernement américain a décidé d'utiliser l'électronique pour faire la guerre — ou plutôt puisque aucun gouvernement n'admet qu'il puisse avoir des desseins belliqueux — d'utiliser l'électronique pour sa défense. Dans l'industrie électronique anglaise, moins importante bien sûr que l'industrie électronique américaine, les applications militaires n'interviennent aujourd'hui que pour 20 pour 100 du total. Cependant, si le besoin s'en faisait sentir, elle pourrait se transformer rapidement à 100 pour 100 en une industrie de guerre. Cette orientation de l'électronique vers les utilisations militaires, commune à toutes les grandes puissances, montre l'importance du

rôle qu'elle joue dans la guerre moderne. Nous allons discuter dans ce chapitre des différents aspects de la question.

Les armes téléguidées

Dans la phase actuelle de leur situation militaire et politique, il est évident qu'aucune des deux grandes puissances nucléaires n'a l'intention d'utiliser ses armes nucléaires contre l'autre par crainte de représailles. L'équilibre de la terreur repose sur la capacité de chacun des deux camps de lancer et de diriger sur des cibles déterminées un nombre de bombes nucléaires capable d'infliger à l'autre des pertes et des destructions catastrophiques ; et cela même si c'est l'autre camp qui a pris l'initiative de déclencher les hostilités. Le professeur Dennis Gabor souligne, dans son livre *Inventing the Future*, que la certitude virtuelle d'être victime de la « revanche du mort » repose sur deux faits : d'une part, les Etats-Unis et l'Union Soviétique sont de très grands pays, même si on les compare avec la surface de la zone qui peut être détruite par leurs bombes superpuissantes ; d'autre part, chaque camp dispose de fusées à carburant solide prêtes à être lancées à tout moment et qui sont installées dans de nombreuses bases largement dispersées à travers tout son territoire. En outre, ces armes de mort peuvent également être lancées automatiquement depuis des bases fixes ou mobiles, et guidées tout aussi automatiquement vers leurs buts quelles que soient les circonstances. Le fonctionnement de tout cet armement repose sur l'électronique.

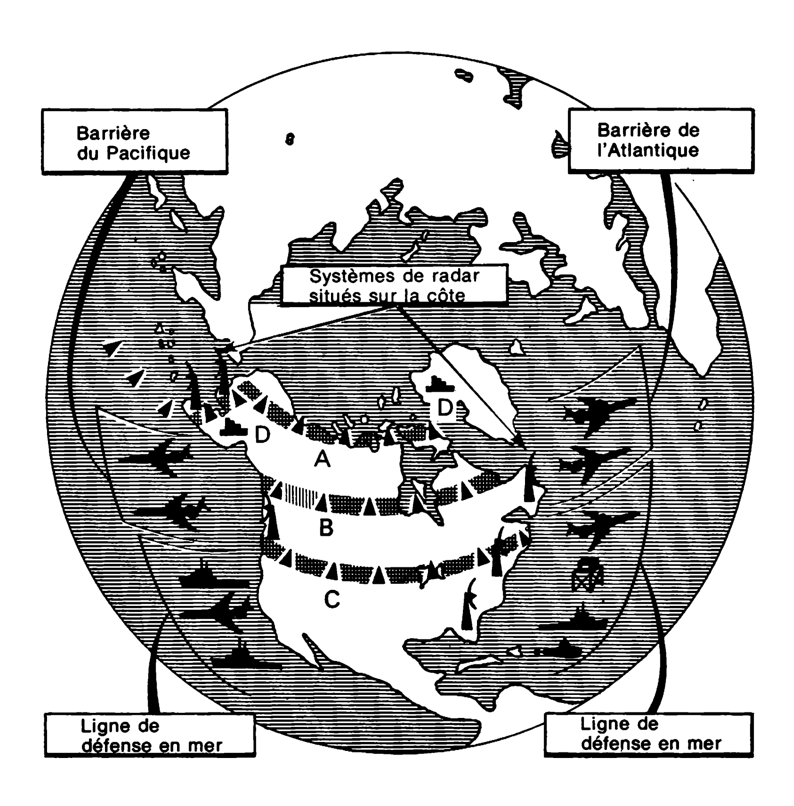
Les Allemands commencèrent la mise au point de leurs premières armes téléguidées dès 1933. Si leur électronique avait été aussi perfectionnée que celle des Alliés, et s'ils avaient possédé des charges atomiques, le cours de la guerre et son épilogue en auraient été changés. Même les V1 et les V2 qui étaient des engins relativement primitifs — « armes secrètes » en qui Hitler mettait son espoir de gagner la guerre — constituaient une très sérieuse menace, et la nécessité d'éliminer ou de détruire leurs bases de lancement était considérée comme un objectif stratégique prioritaire. A la fin de la guerre, les Allemands avaient mis au point une famille complète de missiles téléguidés dont certains

étaient équipés de caméras de télévision et de radiocommandes ; toutefois, ces engins n'avaient pas encore atteint le stade de la production. A la fin de la guerre, les puissances alliées poursuivirent la mise au point d'armes téléguidées, chacune continuant les recherches pour son compte durant la guerre froide qui suivit. Ces travaux étaient gardés secrets (excepté, évidemment, pour les experts et les spécialistes de chaque camp, dont le métier est d'être au courant de ce que font les autres), de sorte qu'aucune dépense n'était épargnée et que très peu de gens étaient au courant. D'autre part, une forte proportion de la main-d'œuvre scientifique et technique aux Etats-Unis, comme en Union Soviétique et en Grande-Bretagne, était totalement consacrée aux problèmes complexes qu'il restait à résoudre. Le moindre des problèmes à surmonter n'était pas l'opposition radicale de personnalités militaires influentes qui se méfiaient autant de l'électronique et de l'automation mises au service de la guerre que beaucoup d'industriels se méfiaient de leur mise en service dans l'industrie.

Les armes téléguidées modernes ne constituent qu'un élément d'un système de défense très complexe reposant sur les techniques électroniques les plus récentes. Ce système de défense comprend des écrans radar capables de donner l'alerte dès que l'ennemi apparaît dans le lointain, un radar d'interrogation, un réseau extérieur de bases pour avions de combat équipés de missiles « air-air », un réseau intérieur de radars pour diriger les missiles antimissiles « terre-air », et finalement les missiles balistiques intercontinentaux (I.C.B.M.), eux-mêmes installés dans des bases bien protégées ou, au sein de la mer, à bord de sous-marins nucléaires.

Selon les informations qui ont été publiées, la chaîne de radars formant le système de défense très compliqué du continent américain fut terminée au début de 1961 (voir fig. 51). La partie la plus septentrionale de ce réseau est la ligne Distant Early Warning (D.E.W.), ligne de défense établie le long de l'extrémité nord du continent. Cette portion du réseau travaille en coordination avec le Ballistic Missile Early Warning System (BMEWS) qui comporte des stations dans l'Alaska, au Groenland et dans le Yorkshire, au nord-ouest de l'Angleterre. Le BMEWS seul a coûté, selon les rapports, 1 milliard de dollars. A 150 km au sud de la ligne D.E.W., se trouve la Mid-Canada Line formant un arc qui

traverse le milieu du Canada. A 150 km plus loin dans le sud, une ligne de radars, l'arc Pinetree, traverse la totalité du Sud du Canada, appuyé par un système « contigu » de radars situé aux Etats-Unis et exploité conjointement par les Etats-Unis et le Canada. Aux Etats-Unis mêmes, le système est complété par des



A. Ligne « Distant Early Warning »
B. Ligne « Mid-Canada »
C. Système de radar « arc Pinetree »
D. B.M.E.W.S.

Figure 51. Le système de défense du continent nord américain repose sur une série d'installations radar complémentaires.

avions et des bateaux dotés de radars et qui sont stationnés dans l'Atlantique et le Pacifique. Dans l'Atlantique, un certain nombre de stations radars sont installées sur des *Texan Towers* (tours du Texas), situées chacune à une distance de la côte variant entre 90 et 120 km et qui, en cas d'attaque aérienne, peuvent donner instantanément l'alerte au quartier général du North American Air Defence Command, situé à Colorado Springs. Le système est conçu non pour intercepter et détruire tout missile ennemi avant que celui-ci n'atteigne son objectif — but impossible à atteindre — mais pour donner l'alerte lorsqu'il approche de manière à ce que l'on ait la certitude que des représailles auront lieu. Les Soviétiques possèdent un système correspondant : il couvre les vastes territoires de l'Union Soviétique. Je pense que l'on peut supposer sans risque de se tromper que les services de renseignements de deux grandes puissances connaissent parfaitement tous les détails des deux systèmes.

La commande et le guidage des missiles eux-mêmes ont recours à la série complète des techniques électroniques et en utilisent tous les genres de composants. Il existe de nombreuses catégories d'armes téléguidées : des armes air-air, terre-air, mer-terre (par ex. les fusées Polaris) et terre-terre (les missiles balistiques intercontinentaux). Les systèmes de guidage diffèrent suivant la nature du missile, mais ils comprennent chacun deux sous-systèmes : l'un commandant l'attitude du missile, c'est-à-dire son orientation dans l'espace, et le second déterminant la trajectoire que le missile doit suivre de façon à ce qu'il atteigne son objectif. Le premier remplit généralement son rôle durant la phase de lancement en plaçant durant cette période le missile sur la bonne trajectoire. La détermination de la trajectoire sera différente selon que l'objectif est mobile ou fixe, mais le guidage comprend généralement deux phases : le guidage à mi-course et le guidage à l'arrivée. Le but du guidage à mi-course consiste à amener le missile aussi près que possible de l'objectif et cela en un temps minimum. Enfin, dans la phase finale de guidage, la tête explosive du missile doit exploser à une distance suffisamment réduite de l'objectif pour atteindre celui-ci.

Un missile terre-air, visant par exemple un avion volant à grande vitesse, peut être guidé au cours de son lancement à l'aide d'un faisceau radar et placé sur la trajectoire correcte, puis dirigé vers son objectif par un système de guidage et enfin autoguidé

vers le point d'impact souhaité. Le guidage à partir du sol peut avoir recours à un premier radar pour suivre la cible à la trace et un autre pour suivre le missile, ainsi qu'à un système de téléguidage par radio. Les informations provenant des deux radars sont introduites dans un ordinateur situé au sol qui calcule rapidement la trajectoire que le missile doit suivre et lui transmet les instructions nécessaires par radio de façon à le téléguider. A courte distance de l'objectif, un système d'autoguidage prend la relève et dirige le missile alors que celui-ci est sur le point d'atteindre son objectif ; il peut émettre ses propres impulsions radar, ou détecter le rayonnement émis par la cible ou utiliser un certain nombre d'autres méthodes qui sont encore jalousement gardées secrètes. Cette brève description de l'interception automatique d'une cible est considérablement simplifiée ; en pratique, le problème se révèle beaucoup plus complexe. L'avion peut tenter de s'échapper et, au lieu de se diriger directement vers sa cible, le missile doit prévoir le point où elle sera au moment où le missile l'atteindra. Il existe également différents moyens pour brouiller les signaux radar et les signaux de radiocommande, comme il existe différentes méthodes de parade pour éviter ce brouillage. De la sorte, l'électronique a transformé la guerre en une joute où les savants et les électroniciens des deux camps jouent au plus fin.

Dans le cas des missiles terre-terre à longue portée (les I.C.B.M.), tout l'équipement électronique est installé à bord du missile lui-même et sera détruit avec lui. Avoir toutes garanties qu'une grosse fusée à plusieurs étages transportant une bombe à hydrogène explosera dans un rayon distant au maximum de quelques kilomètres d'une cible située à 8 000 km de là, exige un équipement électronique très complexe et très coûteux. Le missile emporte à son bord un ordinateur qui décèle les nombreux facteurs imprévisibles qui pourraient affecter son vol et les manières d'y parer : par exemple les variations de température et de densité de l'atmosphère à haute altitude, les courants aériens et les sautes de vent, les variations dans le débit du générateur d'électricité, le mauvais fonctionnement des équipements de commande, etc. Les systèmes de navigation constituent des merveilles de précision. Un système remarquable appelé le « guidage par inertie » possède l'avantage de ne pouvoir être affecté par des interférences provenant de l'extérieur. De plus, son approche ne

peut être détectée. Ce système repose sur l'emploi de trois accéléromètres très sensibles qui détectent avec précision les accélérations suivant les trois dimensions et qui sont accouplés à trois gyroscopes qui fournissent au missile des bases de référence selon les trois dimensions. De cette manière, la distance parcourue depuis l'aire de lancement peut être calculée dans chacune des trois dimensions. Durant le vol, l'ordinateur reçoit des données provenant des appareillages de navigation et de détection et, si ces données diffèrent de celles emmagasinées préalablement dans sa mémoire, des corrections sont immédiatement et automatiquement envoyées. En outre, l'exactitude de la trajectoire est contrôlée une deuxième fois grâce à des appareils de repérage permettant de déterminer la position du missile par rapport aux étoiles ou encore par des mesures du champ magnétique terrestre ou à partir du repérage des émissions de stations de radio au sol, situées sur la route du missile.

Le missile balistique intercontinental (I.C.B.M.) pose un problème de défense très difficile. Les systèmes modernes de radar sont capables de détecter l'approche de missiles à longue portée, alors que ceux-ci se trouvent encore à des distances considérables. Car détecter des missiles est une chose, les détruire à une distance suffisante pour ne pas prendre de risques en est une autre. Américains comme Soviétiques proclament qu'ils disposent d'un système de défense composé de missiles antimissiles offrant toutes garanties de sécurité. Mais lorsque se dirigent vers vous des missiles à tête nucléaire, il vous faut être sûr à 100 pour 100 de l'efficacité de votre système d'interception à longue distance, et cette certitude absolue n'est certainement pas garantie par les systèmes actuels. En attendant, il reste un seul moyen de défense valable : convaincre l'adversaire qu'en cas d'attaque, il sera victime de représailles immédiates, selon le processus mentionné plus haut. L'électronique qui a engendré la guerre presse-bouton, permet aussi de répliquer à une attaque même si aucun doigt n'est plus disponible pour appuyer sur ce bouton.

Les navires de guerre automatiques

Depuis 1940, les navires de guerre n'ont cessé d'être équipés de plus en plus d'appareils électroniques. Un porte-avions moderne peut transporter à son bord un appareillage électronique valant 15 millions de dollars. A peu près la moitié du coût total d'un sous-marin nucléaire américain récent représente la valeur de son équipement électronique. Les conditions dans lesquelles se déroule une guerre moderne obligent les navires de guerre à traiter automatiquement une grande quantité de données et de prendre rapidement les mesures qui s'imposent en conséquence. Toutes ces données sont recueillies au moyen d'appareils électroniques : radio, radar et sonar. Elles sont traitées par des ordinateurs ; ensuite les données traitées gouvernent le bâtiment et mettent son armement en action. Récemment encore, l'utilisation de tout cet équipement électronique n'occasionnait pas de réduction de personnel. Au contraire, elle demandait, en plus de l'équipage habituel, des techniciens hautement qualifiés indispensables pour entretenir ce matériel. Mais, aujourd'hui, cela change. Les nouveaux équipements électroniques sont plus automatisés et offrent une plus grande sécurité de fonctionnement.

Un navire de la Marine britannique, le H.M.S. *Eagle*, qui a été remis en service en 1954 après avoir été complètement transformé, illustre bien la tendance actuelle vers l'automatisation généralisée des navires de guerre. Le *Eagle* est gouverné par un système appelé A.D.A. (Action Data Automation) dont le cerveau est constitué par l'ordinateur numérique Poséidon, dont le prix s'élève à 3 millions de dollars. Ce cerveau électronique a été mis au point conjointement par les Services de Recherches des Armes de la Surface de la Marine britannique et par les firmes électroniques Ferranti, Mullard et Pye. Cet ordinateur géant, qui peut effectuer un demi-million d'additions par seconde en ne commettant pas plus d'une erreur par 16 millions d'additions, est conçu de manière à pouvoir traiter automatiquement à grande vitesse le flot de données qui lui sont transmises par les radars du bord. Il résout les problèmes complexes que pose l'interception d'un avion par des missiles et indique le processus à suivre pour frapper l'ennemi avec un maximum d'efficacité. Le Poséidon remplace à lui seul 60 marins et effectue leur travail avec une

vitesse et un rendement qu'ils n'auraient jamais pu atteindre. Il peut prendre en main la plupart des opérations de commande du navire, comme diriger la chambre des machines par exemple.

L'utilisation des circuits intégrés et de l'électronique moléculaire décrite au chapitre 3, permettra de faire face aux exigences rigoureuses de l'appareillage installé à bord des navires de guerre modernes. Cet appareillage doit occuper le minimum de place et fonctionner parfaitement en dépit des vibrations, des chocs, des différences extrêmes de température et en dépit de l'eau de mer. Quand ces techniques de la micro-électronique auront été parfaitement mises au point, le navire de guerre complètement automatique deviendra réalisable. Il constituera alors l'équivalent d'une plate-forme mobile de défense automatique servant au lancement de missiles téléguidés et les quelques hommes restant à bord seront pour la plupart des experts électroniques. Pour faire carrière dans la Marine, il ne suffira plus de savoir astiquer les cuivres ; les aspirants amiraux devront connaître leur électronique sur le bout des doigts.

Le mythe du « rayon de la mort »

Notre époque a la détestable habitude, dès qu'une nouvelle découverte scientifique sort du laboratoire, de spéculer immédiatement sur ses utilisations militaires possibles. Ceci s'applique particulièrement aux découvertes du domaine de l'électronique qui ont servi au cours des vingt dernières années de terrain de chasse aux Services de Recherches de l'Armée. Lorsque le laser fut inventé (voir chapitre 4) et qu'il fut démontré qu'un rayon laser, concentré au moyen d'une lentille, peut transpercer une lame d'acier ou vaporiser un fragment de diamant placé sur son chemin, il fut salué par beaucoup de militaires comme le « rayon de la mort », attendu depuis si longtemps. Certains se sont livrés à de nombreuses conjonctures, (et pas seulement dans la presse à sensation) concernant la possibilité d'employer un rayon laser de forte intensité pour détruire des missiles en vol. Il a même été suggéré que des bases pourraient être établies sur la Lune à partir desquelles des rayons de la mort pourraient être dirigés

vers la Terre où ils mettraient le feu à leurs objectifs.

C'est peut-être l'idéal de certains de trouver des moyens toujours plus efficaces pour détruire leurs semblables mais les lois de la nature sont ainsi faites que nous ne pouvons les modifier. Le professeur Hans Thirring (dans le *New Scientist*, n° 343, juin 1963) a signalé quel non-sens constituaient ces utilisations imaginaires du laser lorsqu'elles étaient examinées à la lumière des connaissances scientifiques. Considérant l'idée d'employer un laser pour détruire un missile en vol, il souligne que le rayon se compose d'ondes lumineuses qui ne pénètrent pas dans la matière comme le font des rayons gamma ou des rayons X. La seule manière dont le rayon laser pourrait transpercer l'enveloppe extérieure d'une bombe, consisterait à la faire fondre. Il est vrai, comme je l'ai dit au chapitre 4, que le degré extraordinaire de concentration que l'on peut obtenir avec un rayon laser rend possible la convergence de toute son énergie sur une très petite surface et, sur *cette très petite surface*, si on y consacre le temps nécessaire, il est possible de faire fondre les substances frappées par le rayon. Mais voilà, le missile n'emporte pas obligatoirement avec lui une lentille qui concentrerait sur lui le rayon laser, de sorte qu'il reste un seul moyen de le détruire : envoyer le faisceau lumineux sur la totalité de la surface du missile avec suffisamment d'énergie et suffisamment longtemps pour faire fondre l'enveloppe.

Le professeur Thirring a montré que, dans l'hypothèse optimiste où l'enveloppe de la bombe ne pèserait que 50 kg, l'énergie requise pour faire fondre cette quantité d'acier en une minute, est supérieure à 800 kilowatts. Si le missile se trouve à une cinquantaine de kilomètres, la section transversale du faisceau laser à ce point équivaudra à au moins 200 fois la surface du missile, de sorte que l'énergie totale qui devrait être émise par le rayon pour assurer la destruction du missile, devrait avoir une puissance supérieure à 200 × 800 kilowatts soit plus de 160 mégawatts. Cette force dépasse de cinq cent mille fois l'énergie émise jusqu'ici par un rayon laser continu ! Même s'il était possible de réaliser un laser émettant une telle énergie, il n'en resterait pas moins à résoudre des problèmes terriblement difficiles tel que celui de parvenir à faire traverser l'atmosphère terrestre à ce rayon extrêmement fin pour qu'il aille frapper un objet minuscule, se déplaçant à grande vitesse ou encore de

maintenir le rayon dirigé sur sa cible de façon permanente pendant au moins une minute. En ce qui concerne les bases lunaires émettant un rayon de mort, le professeur Thirring a prouvé que, même si nous étions capables d'installer un laser d'une puissance de 1 000 mégawatts sur la Lune (soit infiniment plus que la puissance atteinte jusqu'aujourd'hui), l'intensité maximum du rayon mesurée en n'importe quel endroit de la Terre, serait inférieure à un dixième de l'intensité atteinte par rayonnement solaire à cet endroit, s'il est situé dans une zone tempérée.

Il reste une application militaire possible du laser. Elle est décrite par le professeur Thirring qui utilise une cible transportant sa propre lentille, accessoire indispensable pour concentrer sur elle le rayon laser : cette cible, c'est l'œil humain. On a signalé des cas où la rétine de l'œil avait été endommagée : un chercheur avait par exemple placé volontairement son œil sur le chemin du rayon laser. Il est indubitable que l'on pourrait fabriquer des armes à laser capables d'engendrer un aveuglement temporaire. Cette idée particulièrement perverse n'est pas moins diabolique que celle de lancer du napalm sur des cibles humaines.

L'espionnage électronique

L'électronique joue un grand rôle dans le milieu détestable de l'espionnage, aussi bien dans la réalité que dans les histoires de fiction. L'aspect le plus déconcertant de ce monde, c'est que « l'incroyable » dans les exploits d'un extraordinaire super-espion de roman, devient bientôt la plus triste réalité dans l'espionnage « scientifique » de la vie réelle.

Que va-t-on tirer, par exemple, d'une remarquable application du laser envisagée lors d'une réunion d'un sous-comité judiciaire du Sénat tenue à Washington et dont le compte-rendu est paru dans le *Times* de Londres le 19 janvier 1965 ? Les témoins entendus expliquaient l'art de la surveillance électronique et envisageaient son utilisation possible pour s'ingérer dans la vie privée (des agences américaines telles que le Service de Renseignement Militaire ; la C.I.A., Central Intelligence Agency ; le

F.B.I., Federal Bureau of Investigation, et les agences chargées de faire respecter les lois ou les agences privées d'espionnage furent spécifiquement exclues de l'enquête de sorte que l'on n'eut pas à y protester d'avance quant à l'invasion présumée de la vie privée par ces organisations). Un des experts, un employé à la retraite des laboratoires Bell, fit une démonstration avec un rayon laser. Il annonça que des ingénieurs travaillaient sur un appareil de modulation qui permettrait d'envoyer ce rayon lumineux très concentré dans une chambre se trouvant à une centaine de mètres de sorte que l'on obtiendrait une image de télévision montrant tout ce qui se passait dans cette pièce.

Si un tel appareil était mis au point, il y aurait encore un certain temps à attendre avant qu'il ne détruise le reste d'intimité dont nous jouissons encore aujourd'hui. Il est de notoriété publique que, dès à présent, tout qui utilise un téléphone, ou qui se trouve à proximité d'un appareil téléphonique, peut être espionné grâce à des minuscules appareils électroniques bon marché et fonctionnant très bien. Très difficiles à repérer, ils permettent d'enregistrer automatiquement au moyen d'un magnétophone commandé à distance, toute conversation tenue dans une pièce. Beaucoup d'efforts et d'ingéniosité ont été dépensés pour perfectionner ces engins et d'autres du même genre tels que des microphones cachés dans un paquet de cigarettes, une épingle de cravate ou une olive accompagnant l'apéritif ; des émetteurs-récepteurs miniatures ou de minuscules enregistreurs sur bande pouvant se glisser dans un étui tenu sous le bras. L'usage de ces gadgets n'est pas réservé aux seuls enquêteurs professionnels ou aux illusionnistes, ils peuvent être achetés ouvertement ou sous le manteau par quiconque se sent une âme d'espion amateur.

Il n'y a guère de découvertes scientifiques ou techniques dont l'exploitation ait été négligée par les services d'espionnage des gouvernements des pays les plus riches ; tous cherchent à en tirer des « jouets » pour leurs espions. Dans ce domaine, comme dans ceux que nous avons déjà passés en revue, l'électronique joue un rôle de premier plan. Ordinateurs, radars, détecteurs de mensonges, émetteurs miniatures, caméras de télévision..., sont abondamment utilisés par des organisations telles que la C.I.A. qui emploie 15 000 personnes et dépense environ 500 millions de dollars par an pour récolter des informations provenant d'amis et d'ennemis répandus dans le monde entier. Des satellites artificiels

américains, bourrés d'un équipement électronique des plus perfectionnés, peuvent compter le nombre de missiles balistiques intercontinentaux disposés sur les rampes de lancement en Union Soviétique, suivre le compte à rebours du lancement d'un satellite russe, ou enregistrer la conversation tenue entre Moscou et un sous-marin soviétique voguant dans les eaux du Pacifique. De leur côté, les Soviétiques comme on le sait, disposent aussi de leurs propres satellites.

Par conséquent, avant de balayer d'un revers de la main l'idée d'un satellite qui pourrait voir à travers les murs parce qu'il s'agit là d'une réalisation impossible, n'oublions pas que la plupart des engins d'espionnage décrits ci-dessus auraient été considérés comme irréalisables il y a seulement quinze ans encore. Il est maintenant certain (voir le *Times* du 27 avril 1966) que la C.I.A., non contente de pouvoir écouter les conversations circulant sur le réseau téléphonique ou même sur le réseau électronique d'un immeuble, met au point un appareil très sensible qui pourra enregistrer à distance une conversation tenue par des interlocuteurs discutant dans une chambre close, en enregistrant simplement les vibrations transmises à la vitre et provoquées par la voix des interlocuteurs. Il est intéressant de tenter d'imaginer les parades que va trouver le contre-espionnage : sera-ce des enceintes insonorisées portatives ? Ou un brouilleur acoustique miniature ? Ou simplement l'obligation pour les espions d'apprendre à parler avec les mains le langage des sourds ?

On pourrait se demander toutefois si les gouvernements ne pourraient trouver d'autres moyens pour mieux dépenser leur argent qu'en payant des espions et leur équipement. En effet, en dépit de tous ces ustensiles extrêmement coûteux et des agents très bien payés, le jeu de l'espionnage atteint parfois le niveau de la pure farce. Il existe un exemple fameux que je pourrais appeler la « loi de Parkinson de l'espionnage » : plus l'équipement technique utilisé pour l'espionnage est complexe, moins les espions doivent le faire remarquer. Cela se passe un jour de 1960 lorsqu'un agent de la C.I.A. monte dans un avion à Tokyo, s'envole jusqu'à Singapour, et loue là-bas une chambre dans un hôtel afin d'y recevoir un visiteur. Notre agent secret enfonce la fiche d'un détecteur de mensonges dans la prise de courant et fait sauter les plombs, plongeant l'immeuble dans l'obscurité. Une enquête s'ensuit et l'agent de la C.I.A. ainsi qu'un de ses collègues

sont arrêtés et jetés en prison comme espions américains. L'affaire s'enfla au point de constituer un incident international qui a eu une grande répercussion sur la C.I.A. Finalement, le gouvernement des Etats-Unis fut obligé de commettre un mensonge en public et par la suite d'admettre qu'il avait menti, devant un public encore plus vaste. Depuis ce jour, furieux et humiliés, des citoyens américains se posent toujours et encore de nombreuses questions sur la C.I.A.

En considérant tout ceci, je reste toujours sceptique quant à l'utilisation du laser pour voir à travers les murs. Certes, je risque l'accusation d'être devenu croulant. Néanmoins, je ne vois vraiment pas comment cet appareil pourrait fonctionner si les rideaux sont tirés ou si le trou de la serrure est bouché, ces précautions étant prises normalement pour se protéger des regards indiscrets. Toutefois je ne doute nullement que des experts très bien payés sont en train de travailler à la mise au point de cette invention.

Chapitre 10

L'ELECTRONIQUE ET LES SCIENCES BIOLOGIQUES

L'électronique est destinée à jouer un rôle humanitaire d'importance majeure.

Dr Vladimir K. Zworykin

Comme dans chaque domaine où l'on a recours à ses services, l'électronique s'est révélée être un outil très puissant mis à la disposition des sciences biologiques. Grâce à son aide, des progrès révolutionnaires ont été accomplis en matière de recherche sur la nature de la vie, pour mesurer et étudier les organismes vivants, et dans chacun des principaux domaines de la médecine. Ces progrès nous sont moins familiers que ceux accomplis, par exemple, dans les domaines industriel et militaire mais comme leur importance est aussi considérable, je vais en décrire quelques-uns et évoquer quelques-unes de leurs possibilités futures, qui se révèlent prodigieusement passionnantes.

Des instruments pour la biologie et la médecine

Durant environ trois siècles, le microscope fut l'instrument de base qui nous permit de découvrir l'organisation et la structure de la cellule vivante. Cependant, des organismes extrêmement minuscules exerçant une influence sur la matière vivante (tels que les virus filtrants, par exemple) demeuraient hors de portée des plus puissants microscopes et n'avaient jamais été aperçus jusqu'à l'invention du microscope électronique. Le lecteur se rappellera

que les électrons peuvent se comporter comme des ondes très courtes aussi bien que comme des particules minuscules. Il n'aura donc aucune difficulté à saisir le principe du microscope électronique. Celui-ci possède de nombreux points communs avec le microscope ordinaire, avec cette différence que les ondes lumineuses y sont remplacées par des ondes composées d'électrons et que les lentilles en verre sont remplacées par des lentilles électroniques. Une lentille électronique est constituée soit par des bobines de fils parcourues par des courants qui engendrent ainsi des champs magnétiques de forme déterminée, soit par des plaques métalliques auxquelles on applique des voltages très élevés qui créent des champs électrostatiques de la forme voulue. Dans chaque cas, le faisceau électronique est incurvé comme le faisceau lumineux est incurvé dans un microscope ordinaire. Outre le système des lentilles, le microscope électronique comporte un canon à électrons qui fournit un jet d'électrons dotés d'une très grande vitesse, de même qu'un écran fluorescent sur lequel se projette l'image électronique agrandie. Comme de plus il faut maintenir un vide poussé à l'intérieur de l'appareil et qu'en outre des alimentations stabilisées fournissant diverses tensions assez élevées sont indispensables, il en résulte que, dans la plupart des cas, le microscope électronique est un instrument de grandes dimensions complexe et coûteux ; il faut toutefois reconnaître qu'il est aussi utile que cher. Si l'on veut examiner une substance au moyen d'un microscope électronique, on place une coupe mince et translucide dans une enceinte où a été pratiqué un vide poussé. La coupe mince, traversée par un faisceau d'électrons provenant du canon à électrons, produit une image par transparence à peu près de la même manière qu'une diapositive. La substance examinée engendre une image électronique dont la composition dépend de la manière dont ses différentes parties s'opposent plus ou moins au passage des électrons et cette image est alors concentrée et agrandie par la lentille électronique puis projetée sur l'écran, ou sur une plaque photographique si l'on désire obtenir des microphotographies. Plus la vitesse des électrons émis par le canon à électrons est grande, plus courte est la longueur d'onde du faisceau électronique. Dans les microscopes électroniques les plus récents à voltage élevé, les électrons sont accélérés jusqu'à des vitesses où leur longueur d'onde n'est que d'environ un cent millième de la longueur d'onde de la

lumière ordinaire. Alors qu'avec un microscope classique, on peut discerner des détails séparés par une distance correspondant à la longueur d'onde de la lumière (soit environ un demi-millième de millimètre), le pouvoir séparateur d'un microscope électronique est 100 000 fois supérieur à celui d'un microscope ordinaire, soit moins de 25 millionièmes de millionième de millimètre. En pratique, on ne peut atteindre cette précision à cause des imperfections des lentilles électroniques et parce qu'il est extrêmement difficile de pratiquer et de monter des coupes suffisamment minces ; mais même dans l'état actuel de la technique, un progrès sensible peut être obtenu par rapport au meilleur microscope optique, et l'on parvient à distinguer des éléments séparés par 25 ou 50 millionièmes de millimètres. Utilisant un des nouveaux ultramicrotomes, ces microscalpels très ingénieux et extrêmement précis, des préparations d'une épaisseur d'un 50 mil-

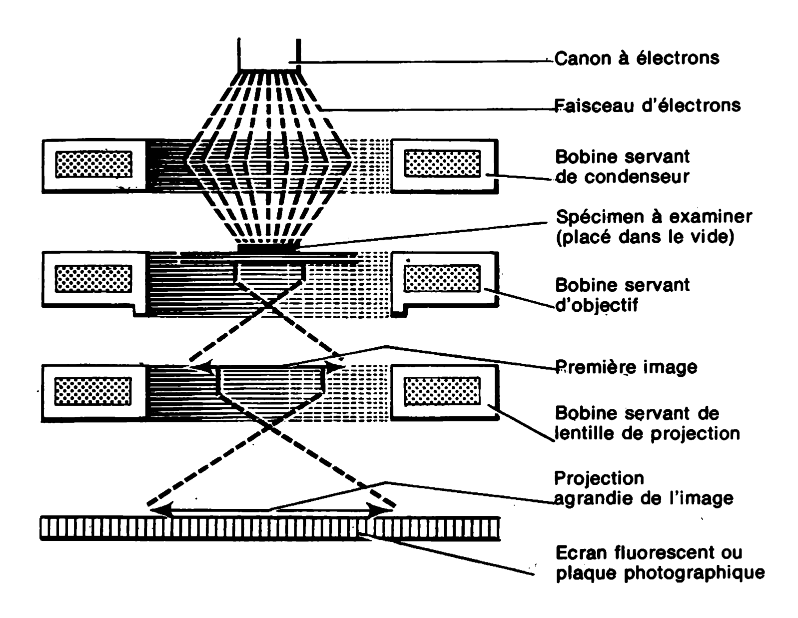


Figure 52. Principe du microscope électronique utilisant des lentilles magnétiques.

lionième de millimètre seulement, obtenues à partir de tissus cellulaires, ont permis de voir, grâce au microscope électronique, des structures qui demeuraient invisibles aux microscopes ordinaires. Par exemple, le cytoplasme, une substance qui ressemble à de la gelée et qui constitue l'intérieur des cellules végétales et animales, ne laisse voir que peu ou rien de sa structure si l'on utilise un microscope ordinaire même très puissant, par contre, avec un microscope électronique, apparaît un réseau de minuscules canaux communiquant avec la paroi de la cellule ; et l'on sait maintenant que ceux-ci jouent un rôle important dans la vie de la cellule.

Quoique l'on ait beaucoup appris concernant la structure intime de la cellule vivante grâce au microscope électronique, il n'est cependant pas possible d'observer ces détails sans compromettre fortement l'équilibre normal de la cellule, puisque celle-ci doit être découpée, montée, placée dans le vide et exposée au bombardement des électrons. Vers 1964, un instrument remarquable — véritable radiomicroscope — a été mis au point à la Western Reserve University à Cleveland, dans l'Ohio, pour examiner les molécules vivantes sans troubler leur fonctionnement. Lorsque nous voulons connaître le rôle joué par les atomes dans un organisme quelconque, normalement, nous attaquons l'enveloppe extérieure des atomes formée d'électrons, au moyen de la lumière, de l'électricité ou de produits chimiques. Toutefois, puisque ces électrons périphériques participent déjà aux processus électriques et chimiques de la vie elle-même, inévitablement nous modifions, ou même nous détruisons totalement ces processus et ces systèmes en voulant obtenir d'eux des informations sur leur constitution. Le nouvel instrument, dont le principe repose sur ce que l'on appelle une « résonance magnétique du noyau », émet des ondes radio qui voyagent à travers l'enveloppe des électrons périphériques des atomes sans les perturber, mais qui, par contre, exercent un effet sur le noyau. Dans un champ magnétique déterminé, beaucoup de noyaux atomiques tournent sur eux-mêmes et sont dotés d'un mouvement de *précession**, le taux de précession constituant une caractéristique de chaque type de noyau. Un signal radio, en accord avec la précession d'un noyau donné, induit tous les noyaux de ce type à entamer un mouvement de précession, et ils se mettent alors à leur tour à émettre un signal radio caractéristique qui

peut être détecté. Le mouvement de précession des noyaux crée une sorte de « friction » qui réduit fortement le niveau de la précession, et ceci engendre un affaiblissement graduel du signal radio correspondant.

Voici la technique employée pour utiliser le radiomicroscope : le cobaye que l'on veut étudier est placé entre les pôles d'un aimant puissant, tandis que des signaux radio sont transmis en direction de l'animal et que les échos engendrés par ces signaux sont soigneusement enregistrés. Si l'émetteur et le récepteur sont convenablement accordés, une grande variété d'éléments chimiques peuvent être ainsi détectés, et l'on parvient à décrire avec beaucoup de détails leurs mouvements et leurs milieux ambiants. Au cours d'un des premiers tests effectués sur le muscle d'une grenouille vivante à l'aide du nouvel instrument, celui-ci fut accordé sur la fréquence de l'hydrogène, élément que l'on rencontre toujours abondamment au sein des tissus vivants. On découvrit que le signal renvoyé, dû à la résonance magnétique du noyau d'hydrogène, s'affaiblissait beaucoup plus lentement lorsque le muscle était contracté que lorsqu'il était relâché. On émit alors l'hypothèse que l'eau se trouvant dans le muscle est fixée aux molécules de protéines à peu près de la même manière que des molécules d'eau sont maintenues dans les cristaux de glace. Lorsque le muscle se contracte, les molécules d'eau semblent libérées et elles vagabondent comme des molécules normales composant un liquide.

Un autre instrument électronique qui a permis de surmonter certaines difficultés d'observation des cellules vivantes, est le microscope qui convertit l'ultraviolet en images de T.V. en couleurs. Dans les microscopes travaillant à la lumière ordinaire, la plupart des cellules apparaissent comme étant presque entièrement transparentes, et il est extrêmement difficile de recueillir des données intéressantes concernant la répartition et la concentration des éléments composant la cellule. Puisque dans beaucoup de cellules, ces composants présentent des différences caractéristiques beaucoup plus marquées si on les éclaire au moyen d'une lumière ultraviolette, l'utilisation des microscopes à rayons ultraviolets a constitué un progrès considérable. Cependant, ils ne peuvent être employés que dans le cas d'objets fixes pouvant être exposés à des doses mortelles de rayons ultraviolets. D'ailleurs, pour qu'on puisse déterminer le degré de concentration des

différents composants de la cellule, le spécimen à examiner doit être exposé à une série de rayonnements ultraviolets de différentes longueurs d'onde. Et c'est là une procédure longue et fastidieuse.

Le microscope qui convertit l'ultraviolet en images de T.V. en couleurs (résultat, pour une grande part, des travaux effectués après la guerre par le Dr Zworykin, inventeur de l'iconoscope) donne une vue quasi immédiate de la distribution quantitative des composants chimiques dans une cellule vivante, même si celle-ci remue. Grâce à cet instrument, des images agrandies de couleurs rouge, bleue et verte sont projetées successivement à un rythme très rapide sur l'écran d'un téléviseur en couleurs. Elles sont produites par un convertisseur d'images ultraviolettes, les trois images colorées correspondant à trois longueurs d'onde déterminées de rayonnement ultraviolet. Le recours à un tube vidicon sensible à l'ultraviolet (voir chapitre 5) permet de n'utiliser qu'une radiation de faible intensité, de sorte que la cellule ne subit aucun dommage. Sur l'écran de T.V., les trois images colorées sont combinées du fait de la persistance rétinienne en une unique image multicolore dont les couleurs permettent de voir en un clin d'œil les caractéristiques d'absorption des rayons ultraviolets des différents composants chimiques du spécimen. Beaucoup de changements rapides s'opérant au sein d'une cellule vivante, qui ne pouvaient être décelés par un autre instrument, peuvent à présent être observés et enregistrés sur film.

Le comportement et les caractéristiques des cellules vivantes isolées constituent un autre aspect des organismes vivants ; celui-ci a livré ses secrets grâce aux instruments électroniques. Un autre aspect également important est l'interaction coordonnée de ces millions de cellules qui assurent l'accomplissement des fonctions des organes vivants ; ici aussi, l'électronique nous a dotés de magnifiques méthodes d'investigation. Les activités des cellules vivantes sont immanquablement accompagnées de signaux électriques ou de phénomènes associés qui peuvent être facilement convertis en signaux électriques grâce à des transducteurs appropriés. Les courants mis en jeu peuvent être extrêmement faibles, et l'on a mis au point une catégorie spéciale d'amplificateurs qui permettent de les agrandir de telle sorte qu'ils soient suffisamment puissants pour être enregistrés commodément. Le schéma classique de plusieurs appareils employés en biologie et en méde-

cine est par conséquent le suivant : une sonde recueille le signal ou un transducteur convertit les phénomènes en courants électriques. Cette sonde est suivie d'un amplificateur biologique qui amplifie le signal sans le déformer et, finalement, un enregistreur d'un type quelconque permet de garder la trace des phénomènes. Les exemples les plus populaires de cette catégorie d'appareils sont l'électrocardiographe et l'électroencéphalographe. L'électrocardiographe est considéré aujourd'hui comme un auxiliaire indispensable dans le diagnostic et dans le traitement des maladies cardiaques. Les versions modernes de cet appareil fonctionnent sur batteries et utilisent des transistors au lieu de lampes. Ils sont portables et fonctionnent indépendamment d'une source extérieure de courant de sorte que le médecin ne doit transporter qu'une valise pour pouvoir obtenir en toutes circonstances des électrocardiogrammes précis et exacts. L'électroencéphalographe fournit des enregistrements qui visualisent l'activité complexe du cerveau humain. Il s'est révélé d'une valeur inestimable, non seulement pour détecter des anomalies dans le fonctionnement du cerveau, mais aussi pour étudier le comportement des cerveaux normaux.

Les ondes du cerveau et les pulsations cardiaques engendrent des pulsations électriques qui sont détectées en fixant des électrodes spéciales à la surface du corps et en les reliant par des fils aux appareils du genre de ceux décrits ci-dessus. Mais il faut souvent mesurer ou enregistrer le fonctionnement d'organes internes qui n'ont aucun contact avec la surface du corps, et il peut être important dans certains cas d'effectuer ces mesures tandis que le malade se promène ou qu'il court. Evidemment, on ne peut alors recourir aux connexions par fils. La miniaturisation a permis de réaliser des sondes électroniques et des transducteurs qui peuvent être introduits dans presque toutes les parties du corps sans gêner leur fonctionnement et qui transmettent les données qu'ils captent à des récepteurs situés à l'extérieur du corps. De tels appareils sont baptisés d'un nom un peu ronflant : « les endoradiosondes » par analogie avec les radiosondes employées en météorologie. Une grande variété d'endoradiosondes sont mises à notre disposition pour contrôler le fonctionnement du corps et recueillir des informations sur les fonctions organiques telles que la température, la tension artérielle, la digestion, l'oxygénation du sang... La radio-pilule constitue un

bon exemple d'endoradiosonde. C'est en fait une station émettrice de radio miniature, mesurant moins de six dixièmes de cm^3, qui peut être facilement avalée ou insérée dans n'importe quel orifice du corps, de sorte qu'il n'en résulte aucune gêne pour le malade. Si l'on veut explorer l'appareil digestif, la radio-pilule est simplement absorbée par la bouche et elle émet les renseignements collectés par ses transducteurs sous la forme d'un signal radio modulé qui est alors capté de façon classique. On a également mis au point un appareil électronique qui suit automatiquement l'avancement de la pilule à travers le corps de façon que les données transmises à distance puissent être situées avec précision en rapport avec la position de la pilule, ce qui a permis d'arriver à une meilleure connaissance du système digestif.

Des informations concernant les substances et les organismes composant notre corps peuvent également être obtenues en recourant aux techniques ultrasoniques. Essentiellement, les instruments utilisés fonctionnent suivant le principe du radar. Toutefois, les impulsions qu'ils émettent ne sont pas des ondes électromagnétiques mais des ondes sonores de très hautes fréquences. Ces impulsions, engendrées par des cristaux piézo-électriques, servent à produire une image sur l'écran d'un tube cathodique, grâce aux échos renvoyés de l'intérieur du corps, de la même façon que les navires de surface dotés d'un équipement Sonar ou Asdic établissent une carte du fond de la mer lorsqu'ils tentent de repérer les sous-marins. Cette technique a permis des succès particulièrement remarquables dans le cas de l'examen d'un cerveau vivant toujours situé à l'intérieur du crâne intact. Puisque cette méthode est rapide et qu'elle ne présente aucun danger, elle peut être utilisée au cours d'une opération ou lorsque le sujet est au lit ; elle peut remplacer avantageusement l'emploi des rayons X.

L'utilisation de l'ordinateur

Les ordinateurs analogiques comme les ordinateurs numériques ont ouvert de nouveaux domaines à la recherche biologique et médicale, bien que les conséquences de leur utilisation dans ce

domaine n'aient pas encore été totalement ressenties. Beaucoup d'organismes biologiques sont extrêmement complexes et défient l'analyse par les méthodes conventionnelles. Par contre, grâce aux ordinateurs analogiques, on établit des modèles électriques imitant ces organismes vivants, modèles qui permettent de procéder à une analyse complète. Des ordinateurs analogiques ont également été employés pour simuler le fonctionnement du cœur et des vaisseaux sanguins, du foie, des reins et d'autres organes, permettant ainsi de mieux comprendre leur fonctionnement. Une autre méthode d'approche permettant d'étudier les phénomènes biologiques consiste à élaborer une théorie concernant leurs mécanismes, de traduire cette théorie en équations différentielles, de les introduire dans un ordinateur et de voir si les données expérimentales concordent avec les solutions de ces équations. Dans la négative, on établit une nouvelle série d'équations et l'on essaie à nouveau, et ainsi de suite... La résolution des équations de ce genre peut être extrêmement difficile et fastidieuse ou même impossible si l'on a recours aux méthodes conventionnelles. Mais elles peuvent être d'habitude aisément résolues au moyen d'ordinateurs numériques.

Des ordinateurs numériques sont également employés pour traiter la quantité considérable d'informations recueillies au cours de recherches biochimiques et biologiques. Voici un exemple frappant de ce que peut un ordinateur : le Dr M. Perutz et le Dr J.C. Kendrew ont eu recours à ses services pour rassembler et interpréter les informations fournies par un grand nombre d'images, prises aux rayons X, de molécules d'hémoglobine et de myoglobine, ce qui leur a permis de construire des modèles de ces molécules et d'accomplir un pas en avant décisif en perçant le mystère de la nature de la molécule de protéine, l'unité chimique de base de la matière vivante. Grâce à ces travaux, ils obtinrent le prix Nobel de chimie en 1962. Mener cette œuvre à bien aurait été considérablement plus difficile s'ils n'avaient pu compter sur l'aide de l'ordinateur numérique.

Des ordinateurs numériques ont été utilisés avec succès aussi bien aux Etats-Unis qu'en Union Soviétique pour aider les médecins à établir rapidement un diagnostic. Les symptômes que présente le patient sont introduits dans un ordinateur ayant un programme qui lui commande de les comparer à un grand nombre de combinaisons possibles de ces symptômes préalable-

ment enregistrées dans sa mémoire. L'ordinateur fournit rapidement une liste des causes possibles qui peuvent avoir engendré cet ensemble de symptômes, et le médecin n'a plus qu'à effectuer un choix entre quelques maladies seulement, au lieu de passer en revue toutes les possibilités. En toute logique, on peut pousser cette technique encore plus loin en fixant au corps du malade des électrodes reliées aux instruments de contrôle, du genre de ceux que nous avons déjà décrits, de manière à ce que les informations concernant son état de santé soient transmises soit par fils, soit par radio, à un ordinateur qui les analysera. C'est ce qu'on fait effectivement lorsqu'on mesure à distance les réactions physiologiques d'astronautes en vol, et il n'y a aucune raison technique qui s'oppose à ce que cela devienne une pratique courante dans tous les hôpitaux.

La mise en place d'un réseau de Centres nationaux de santé reliés à des ordinateurs, réseau qui recueillerait et enregistrerait dans sa mémoire tous les rapports médicaux et les statistiques s'y rattachant, constituerait un progrès important pour la médecine préventive tout comme dans le domaine du diagnostic, puisque l'on pourrait déterminer rapidement et avec précision quel groupe ou quel individu est en bonne santé ou malade. L'usage très limité que l'on a fait de l'informatique dans ce domaine a montré la possibilité d'amortir largement les dépenses consenties. Le retard dans la mise en place d'un système complet est dû principalement au manque de finances. Quand un gouvernement quelconque découvrira qu'un réseau d'ordinateurs destiné à cet usage ne vaut que le prix d'un porte-avions, un grand pas sera accompli en matière de santé publique.

L'infirmière électronique

Une des nombreuses manières dont l'électronique peut être enrôlée par les services médicaux, est son engagement comme infirmière. Lorsque ce système est installé dans un hôpital, une infirmière en chair et en os peut surveiller une centaine de malades à partir d'un panneau de contrôle central (voir fig. 53). A l'aide de sparadrap, l'on fixe aux différentes parties du corps du malade des transducteurs ultralégers et appropriés à chaque

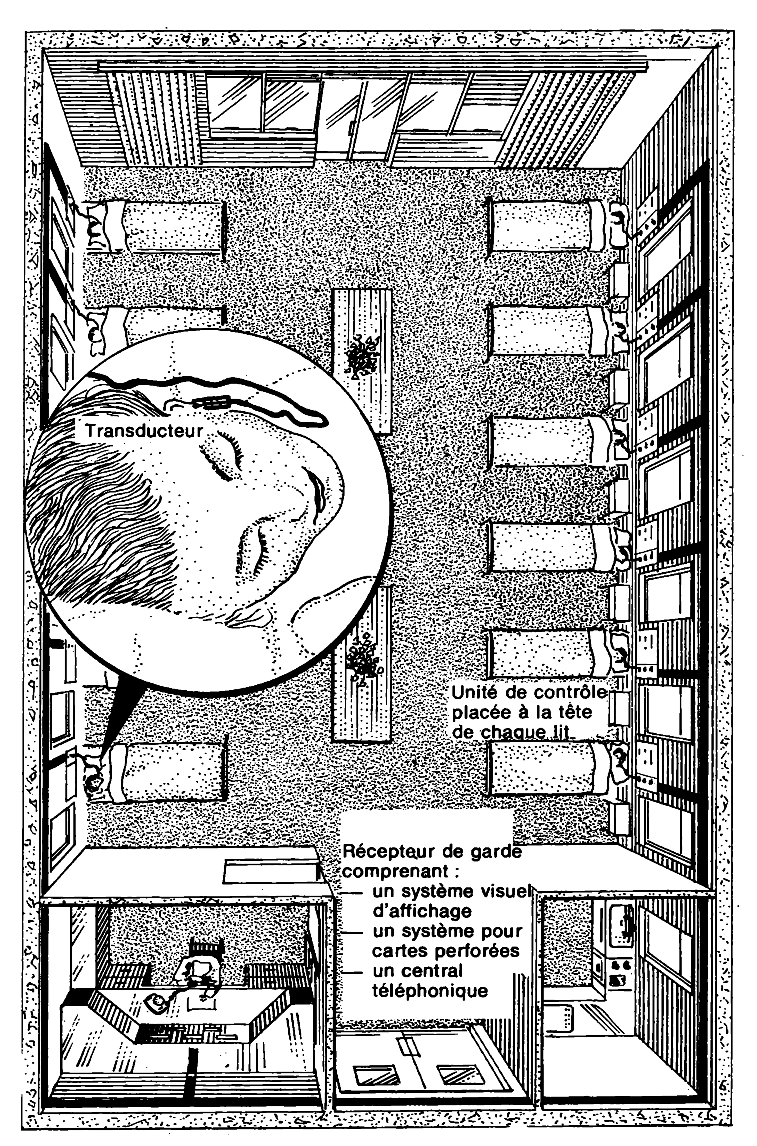


Figure 53. Grâce à l'aide de l'infirmière électronique, une seule infirmiere peut surveiller de nombreux malades.

mesure : le lobe de l'oreille est souvent utilisé pour mesurer le rythme de pulsation cardiaque à l'aide d'un petit transducteur photo-électrique, tout comme la température de la peau y est mesurée au moyen d'un transducteur thermo-électrique. On se sert d'autres types de transducteurs pour mesurer la pression sanguine, le rythme de respiration, etc. ; tous ces signaux sont transmis au moyen de câbles flexibles à un petit appareil situé à la tête du lit du patient. Là, ces signaux sont amplifiés et transmis à un récepteur servant pour une salle entière d'hôpital, lequel est installé derrière le panneau central de contrôle. Dans une installation normale, chaque récepteur garde en observation environ vingt malades. Des mesures provenant des transducteurs sont relevées automatiquement à des intervalles réguliers, inférieurs à une minute et les données ainsi recueillies sont enregistrées automatiquement sur cartes perforées. Si une mesure quelconque dépasse les limites prévues pour chaque malade, un signal d'avertissement est déclenché et le numéro du malade clignote à un rythme rapide sur le panneau de contrôle. Si une infirmière veut connaître l'état de santé d'un malade quelconque, elle forme sur le cadran le numéro du lit de ce malade, et les renseignements voulus apparaissent immédiatement sur le panneau de contrôle. Au cours de sa tournée à travers l'hôpital, un docteur examinant un malade peut vérifier immédiatement le fonctionnement de chacun de ses organes au moyen d'une unité mobile que l'on relie par une fiche à l'appareil situé à la tête de chaque lit. Si le médecin insère la carte perforée appropriée dans la machine, les indications désirées apparaissent sur l'unité mobile.

Evidemment, l'infirmière électronique ne remplace pas l'infirmière humaine lorsqu'il s'agit de soigner individuellement chaque malade, mais celle-ci peut alors mettre à profit son temps et ses capacités avec une efficacité maximum. Vu l'actuelle pénurie d'infirmières dans nos hôpitaux, ce système rendra des services inappréciables, surtout lorsqu'il s'agit de surveiller de près les malades venant de subir une opération. Son coût initial apparaît plutôt élevé mais, dans une certaine mesure, c'est simplement une question d'offres et de demandes, et je pense que dans les salles d'hôpitaux de l'avenir, un tel équipement sera tout à fait usuel, exactement comme la télévision et le contrôle automatique de l'anesthésie deviendront des accessoires normaux de la salle d'opération.

Les méthodes révolutionnaires en médecine

Il n'y a qu'un pas entre la mesure et la surveillance du fonctionnement d'organes humains et la commande automatique de ces organes. C'est dans la commande automatique des organes que se sont produits les plus remarquables progrès résultant de la mise de l'électronique au service de la médecine. Un des premiers organes à recevoir l'aide de l'électronique fut le cœur. Le « pacemaker » est un appareil portatif contenant sa propre source d'énergie qui émet automatiquement des impulsions électriques destinées à stimuler un cœur défaillant ou à corriger un rythme cardiaque anormal. L'appareil peut être implanté dans la poitrine avec des fils reliés à une petite pile extérieure. On peut utiliser un petit moniteur cardiaque conjointement au pacemaker ; il enregistre le rythme cardiaque et fait accélérer le rythme du pacemaker lorsque cela devient nécessaire, déclenchant un signal d'alarme strident et émettant par radio un signal d'urgence qui peut être reçu à 4 km à la ronde. Ce système permet au malade atteint d'une maladie de cœur de signer littéralement un nouveau bail avec la vie. Il est assuré, en cas de crise, d'être secouru en un minimum de temps. Plus récemment, la chaleur du corps a été employée avec succès comme source d'énergie pour alimenter le pacemaker, de sorte que les piles deviennent inutiles.

Un groupe de Los Angeles, dirigé par le Dr J. Lyman, étudie la façon d'étendre ce principe de la commande automatique. Ses membres espérent maintenir automatiquement sous surveillance des diabétiques en contrôlant de manière continue le niveau de sucre de leur sang, de manière que l'insuline puisse y être injectée selon les besoins physiologiques du sujet et non au rythme d'un horaire arbitraire.

Des expériences ont atteint un stade déjà avancé — notamment à l'Hôpital général du Massachusetts et à l'Hôpital Saint-Thomas à Londres — pour réaliser des membres artificiels commandés par les signaux électriques naturels transmis par les nerfs. Lorsque nous souhaitons déplacer un de nos membres, de tels signaux sont envoyés par le cerveau le long des nerfs pour déclencher la contraction du muscle. En amplifiant et en interprétant ces signaux au moyen de petits appareils électroniques, ceux-ci peuvent être employés pour commander des servoméca-

nisme qui actionnent le membre artificiel. Ce dernier peut ainsi être commandé directement par le cerveau de son utilisateur.

Nous pouvons raisonnablement espérer qu'un recours accru aux techniques qui nous ont donné le moyen de remplacer artificiellement des organes aussi différents que l'oreille, le cœur, les poumons, les reins et les membres, permettront avant longtemps de remédier à n'importe quel genre d'handicap, de sorte que l'homme ne restera plus à la merci de la maladie ou d'un défaut congénital.

Chapitre 11

UNE CULTURE POPULAIRE

Qu'avez-vous fait, Messieurs, de mon enfant ? La radio avait été conçue comme un moyen puissant mis à la disposition de la culture, de la belle musique et qui devait servir à élever spirituellement toute l'Amérique. Vous avez poussé cet enfant à mal tourner, vous l'avez envoyé dans la rue pour collecter l'argent de tout le monde, affublé des haillons du ragtime et des oripeaux du boogie-woogie.

Lee de Forest, s'adressant aux directeurs de l'industrie américaine de la radio.

Notre télévision ne montrera pas des programmes en boîte racontant des aventures de gangsters ou la lutte des bons cow-boys et des Indiens... ou les amours des petits bourgeois de Chicago ou de Liverpool... Son but sera d'éduquer dans le sens le plus large et le plus désintéressé du terme. Elle doit aider à la transformation du Ghana, selon les principes socialistes.

Extrait d'un exposé du Dr Nkrumah, dans le *Guide de la Télévision Ghanéenne.*

La mise au service du divertissement des appareils électroniques constitue un aspect de la révolution de l'électronique qui nous est à tous familier. J'emploie ici le mot « divertissement » dans le sens où il est généralement employé dans l'industrie électronique pour désigner un des trois principaux domaines d'utilisation du matériel électronique qui sont : le domaine militaire, le domaine industriel et celui du divertissement (radio, télévision, disques, etc.). Il ne fait aucun doute que d'autres branches en pleine expansion telle que l'électronique médicale, viendront bientôt s'ajouter à la liste des applications majeures de l'électronique mais jusqu'à présent les trois domaines énumérés ci-dessus ont pris chacun une part à peu près égale dans la prodigieuse croissance de l'électronique après la guerre et chacun d'eux

constitue à lui seul une industrie importante. L'électronique-divertissement comprend une multitude d'appareils tels que les récepteurs de radio et de télévision répandus par centaines de millions dans les foyers du monde entier ; les postes portatifs à transistors qui se multiplient à des vitesses vertigineuses, les enregistreurs sonores « haute-fidélité » et les tourne-disques bon marché « basse-fidélité ». Il convient d'y ajouter les milliards de disques et de bandes magnétiques, pour le son ou l'image, et même les films sonores destinés à être projetés à la télévision, enregistrements qui représentent les « boîtes » dans lesquelles sont stockés les programmes.

Grâce à ces articles produits en masse et grâce aux merveilles modernes que nous offrent les télécommunications électroniques que nous avons déjà passées en revue, des armées de techniciens, d'artisans, d'artistes, d'acteurs, de journalistes, d'écrivains, de directeurs artistiques, de producteurs, d'industriels déversent dans des millions d'yeux et d'oreilles des flots d'émissions de divertissement, d'actualités, d'émissions éducatives ou de propagande. Ces programmes produits à la chaîne ne sont que les images et les sons qui reflètent les mondes de la réalité et de la fiction. La plupart des gens sont soumis au cours de leur vie, qu'ils soient consentants ou qu'ils ne l'acceptent qu'à contre-cœur, à l'influence insidieuse de telles émissions. Quel effet exercent-elles sur eux ? Ceci me paraît être un problème trop vaste et trop complexe pour l'enfermer dans les deux citations, l'une optimiste, l'autre pessimiste, mises en exergue à ce chapitre, bien que je pense qu'elles soient toutes deux pertinentes. Que les yeux de la masse restent bien ouverts ou qu'au contraire ils soient assoupis, que ses oreilles soient déformées par la cacophonie de la culture commercialisée ou bien au contraire qu'elles soient affinées grâce à l'écoute des grands maîtres, que sa culture se développe ou bien qu'à l'opposé sa résistance aux arguments de vente soit diminuée, que l'on exploite sa jeunesse ou qu'au contraire on dorlote son grand âge... la responsabilité en repose sur les épaules de qui détient les rênes et manœuvre les moyens de communication de masse puisque ce sont eux qui décident en définitive ce que l'on transmettra par l'intermédiaire des canaux de diffusion.

Dans son livre, sur les *Communications* (en anglais), Raymond Williams classe l'organisation des services de radiodiffusion en quatre catégories. (Précisons tout de suite que par radiodiffusion,

nous entendons à la fois radio et télévision.) Ces quatre catégories sont : le système commercial, en vigueur aux Etats-Unis par exemple et qui régit également la télévision commerciale anglaise ; le système paternaliste, comme celui de la B.B.C. ; le système autoritaire, tel que celui de l'Union Soviétique ; et un quatrième système imaginaire, baptisé système démocratique, dont le public détiendrait la propriété et qui serait contrôlé par les syndicats. Une brève description des caractéristiques des trois premiers systèmes montrera que c'est vraiment celui qui glisse la pièce dans le juke-box qui choisit la musique.

Les chaînes américaines de radiodiffusion fournissent des exemples frappants de l'application du système commercial. Ces chaînes sont détenues par des intérêts privés qui veulent à tout prix en retirer du bénéfice. Aux Etats-Unis, avant qu'une station puisse commencer à émettre, elle doit obtenir une licence de la Federal Communications Commission (F.C.C.), commission créée en 1934 avec pour mission d'allouer des longueurs d'onde et de déterminer l'horaire d'émission de chaque station. Même le défenseur le plus acharné de la libre entreprise ne peut que se soumettre au règlement que lui impose la F.C.C. Toutefois, en supposant qu'il soit décidé à respecter ce règlement et qu'il possède beaucoup d'argent, n'importe qui peut construire et exploiter une station de radio ou de télévision aux Etats-Unis. En principe, le propriétaire peut diffuser le programme qu'il désire mais, normalement, il s'affiliera à l'une des grandes chaînes nationales, diffusant la plupart de ses programmes en commun avec de nombreuses autres stations. Le plus grand des réseaux américains de radio est le Mutual Broadcasting System (M.B.S.) mais comme les trois autres, l'American Broadcasting Company (A.B.C.), le Columbia Broadcasting System (C.B.S.) et la National Broadcasting Company (N.B.C.), il travaille à l'échelle continentale. En outre, il existe des réseaux de moindre envergure à l'échelle nationale et régionale.

Pour la télévision, les trois Grands sont également l'A.B.C., le C.B.S. et la N.B.C., le M.B.S. ne diffusant pas des émissions de T.V. La plupart des grandes villes disposent de leurs propres stations émettrices radio et T.V. Presque chaque Américain possède un poste de radio et près de un sur deux un poste de télévision. Aussi, il est très difficile au citoyen américain d'échapper aux multiples émissions diffusées sur ces diverses

chaînes, même s'il habite une région à la population très clairsemée.

Aux Etats-Unis, environ 25 stations de télévision sur 500 diffusent uniquement des programmes éducatifs. Elles sont financées par des contrats passés avec des fondations et des compagnies industrielles. La plupart des autres stations tirent leurs revenus de la publicité et leurs dirigeants ont découvert que les émissions de divertissement et d'information attiraient mieux les annonceurs. Ils ont orienté leur politique des programmes en conséquence. Certains annonceurs sont des clients habitant la ville qui traitent directement avec la station locale. Néanmoins, la majeure partie d'entre eux passe par les grandes agences de publicité new-yorkaises qui traitent directement « au sommet » avec la direction nationale des grandes chaînes. Bien qu'une grande partie des revenus des journaux provienne également de la publicité, un citoyen américain doit néanmoins payer un certain prix pour acquérir un journal tandis qu'il ne doit rien débourser du tout pour avoir le privilège de regarder ou d'écouter les programmes des grandes chaînes nationales. De la sorte, il n'exerce aucun contrôle financier sur leur contenu. De leur côté, les annonceurs et les organisations finançant certains programmes exercent un droit de regard sur ceux-ci, à la fois quant à leur forme et quant à leur contenu. A en juger par les résultats, ils font montre d'un plus grand mépris des facultés critiques et du souci de culture de leurs auditoires que les magnats de la presse. Peut-être le fait le plus regrettable de tous est-il la puissance abusive exercée par les agences de publicité : ne possédant pas elles-mêmes de stations d'émission, elles ne sont pas sujettes à l'autorité de la F.C.C. ni d'ailleurs à aucune autre forme de contrôle de la part d'une autorité quelconque ; elles ne craignent que leurs concurrentes. Nous n'irons pas plus loin dans l'analyse des raisons de ce contraste qui attristait tant Lee de Forest, contraste entre d'un côté les merveilleuses réalisations techniques de l'électronique américaine ainsi que les immenses possibilités artistiques et culturelles des moyens de communication sociale, et d'autre part, le flot d'ordures qui transforme les chaînes américaines de radiodiffusion en une sorte de système d'égouts.

La version britannique de la télévision commerciale, l'Independent Television Authority (I.T.A.) fut créée suite à la Loi sur la télévision de 1954. Lord Hailsham qualifie cette loi de

« néfaste, pernicieuse et peu réfléchie », tandis que Lord Reith l'appelle : « un ver placé dans la constitution politique de l'Angleterre ». Mais elle obtint l'appui du public qui estimait n'être pas de son intérêt de laisser la B.B.C. détenir un monopole. La différence essentielle avec le système américain réside dans le fait que les annonceurs ne peuvent exercer aucun contrôle direct sur les programmes et que les spots publicitaires doivent s'insérer dans les « coupures naturelles » des programmes et ne peuvent occuper que 10 pour 100 maximum du temps d'antenne. Les publicités à caractère religieux ou ouvertement politique ou encore des annonces touchant à certains conflits se déroulant dans l'industrie, furent interdites. Tout comme il fut interdit de passer des spots publicitaires au cours d'une cérémonie religieuse ou d'une manifestation touchant la famille royale (Un grand scandale s'était produit lors de la retransmission par la T.V. américaine des cérémonies du couronnement de la reine Elizabeth, en 1953 : le programme avait été interrompu pour passer une annonce publicitaire au cours de laquelle un chimpanzé se livrait à des bouffonneries). Chose curieuse, on avait laissé beaucoup plus de latitude aux réalisateurs britanniques de spots publicitaires qu'à leurs confrères d'outre-Atlantique : pour des raisons techniques, les premiers pouvaient recourir à certains truquages (comme employer du fromage crémeux ou de la purée pour imiter la crème glacée) alors que la F.C.C. interdit de telles pratiques aux réalisateurs américains.

Après un départ quelque peu désastreux en 1955, à mettre sur le compte du manque d'expérience, la télévision indépendante (I.T.A.) trouva bientôt sa voie et, en 1962, elle avait atteint un tel succès commercial que, lorsque le rapport du comité Pilkington sur la radiodiffusion en vint à aborder son cas, il insista sur le fait que ses bénéfices étaient quelque peu « excessifs ». En conséquence, le gouvernement les frappa d'un impôt spécial. Même après son entrée en vigueur, les possibilités d'affaires laissées aux sociétés produisant les programmes pour l'I.T.A. étaient encore tellement prometteuses que des experts qualifiés n'hésitèrent pas à en parler comme « du privilège de battre monnaie ». Le comité Pilkington ne mentionnait pas le fait que, chaque jour, des téléspectateurs désertaient la B.B.C. au profit de l'I.T.A., mais il critiqua sévèrement ses programmes et encore plus la conception de ses spots publicitaires qui, disait le rapport,

jouaient sur les « faiblesses humaines ». Il considérait les magazines d'information publicitaire comme une forme de publicité déguisée et, sur sa recommandation, le gouvernement décida leur suppression. Mais l'I.T.A. avait les moyens d'engager les meilleurs talents du monde du music-hall, du théâtre, de la musique et des arts et elle confondit parfois les critiques en diffusant des émissions d'une qualité indéniable, comparées aux meilleures réalisations du genre. Cependant, imitant le mauvais exemple du système américain, elle confina ces émissions aux heures d'écoute les moins populaires. Par contre, durant les heures de forte écoute (par exemple entre 8 et 9 heures du soir), l'I.T.A. avait tendance à mettre sur antenne le même genre de navets que l'on a décrit avec justesse aux Etats-Unis comme constituant du « chewing-gum pour les yeux ». En effet, de plus en plus, on importa d'Amérique des programmes de ce type à l'usage du consommateur britannique, de sorte que le capital qui y avait été investi par l'industrie américaine du divertissement produisit un bénéfice supplémentaire grâce à la Grande-Bretagne.

Les spécialistes des sciences sociales et les psychologues ont beaucoup discuté à propos de la violence qui apparaît trop souvent sur les écrans de la télévision commerciale et sur la question de savoir si elle pousse ou non à la délinquance. Ils sont tombés d'accord pour dire que les opposants à la télévision ont toujours tendance à exagérer les effets de la violence. C'est peut-être vrai, mais l'expérience de la T.V. américaine, tout comme celle de l'I.T.A., a prouvé que le divertissement offert par la télévision commerciale constitue de toute façon une grande réussite en ce sens qu'il crée et qu'il entretient une demande pour de nombreux produits divers et spécialement pour des produits de luxe, demande provenant de gens qui normalement n'en ont pas besoin. Dans un monde conscient et organisé, l'effort de productivité tout comme les matières premières disponibles devraient servir à améliorer le sort de millions de gens sous-développés et mal nourris et il me semble que rien ne pourrait être plus antisocial que d'encourager une compétition visant à nous faire gaspiller nos ressources.

La « paternelle » B.B.C. (peut-être son surnom de « Tante B.B.C. » lui va-t-il mieux) fut créée en 1922. Elle fut d'abord une société à responsabilité limitée formée par l'association de six fabricants de récepteurs de radio auxquels le directeur général des

Postes avait accordé une licence d'émission. Les revenus de cette compagnie provenaient principalement à la fois de la vente de licences de réception (recueillies par les bureaux de poste) et par les redevances sur les récepteurs. En 1927, la compagnie se transforma en une corporation publique, dotée d'un monopole concédé par une charte royale. Après que la B.B.C. eut lancé le premier programme de télévision à haute définition au monde (voir chapitre 5), la Charte fut renouvelée en 1937 par le parlement qui étendit son monopole à la télévision. Cette méthode typiquement britannique de mener les affaires publiques présente les avantages et les inconvénients bien connus. Les membres du « Conseil des gouverneurs » de la B.B.C. sont nommés par la Couronne représentée par le Premier ministre. Ce Conseil a, envers le gouvernement, certaines obligations qui ne sont pas explicitement fixées. Mais il ne fait pas partie du gouvernement et il jouit en théorie d'une liberté d'action considérable. En pratique, le Pouvoir a imposé une censure non écrite et, dans les cas d'urgence ou dans les problèmes politiques auxquels il est sensible, le gouvernement peut tenter de faire usage de son autorité. Néanmoins, la B.B.C. prend très au sérieux ses responsabilités envers le public et elle assure un des meilleurs services de radio et de télévision qui soit au monde. La taxe sur les récepteurs est une des moins élevées d'Europe et une partie appréciable des revenus de la B.B.C. provient de la vente de son hebdomadaire, le *Radio Times*, qui publie les programmes et dont le tarif de publicité est un des plus élevés parmi les périodiques. Lorsque la B.B.C. demande l'autorisation d'augmenter la taxe radio ou T.V. de manière à pouvoir améliorer encore la qualité de ses services, cette question est traitée comme un problème politique brûlant aussi bien par le parti conservateur que par le parti travailliste.

En ce qui concerne la radio, la B.B.C. a opéré une reconversion en 1967. Le Livre Blanc sur la Radiodiffusion publié par le gouvernement britannique en décembre 1966 autorisait la B.B.C. à progresser dans deux directions principales. Le premier objectif était de diffuser un programme de chansons et de musique de variétés en remplacement des émissions des radio-pirates qui venaient de disparaître suite à l'offensive menée par le gouvernement. Le second objectif consistait à développer la radio locale.

Il existe maintenant 4 chaînes de radio en Grande-Bretagne.

Le programme de chansons et de musique légère est diffusé sur Radio 1 (247 mètres — Petites Ondes). Le Light Programme (1 500 mètres — Grandes Ondes et Fréquence Modulée) est devenu Radio 2. Le Third Network a été rebaptisé Radio 3 tandis que le Home Service est devenu Radio 4.

Radio 1, sur 247 m, offre un programme composé de chansons à la mode, animé par des présentateurs qui, à l'instar des animateurs *(disc-jockeys)* des stations pirates, doivent être jeunes, sympathiques et dynamiques. Radio 1 diffuse certaines émissions en commun avec Radio 2, mais quand Radio 1 devient trop « yé-yé », Radio 2 décroche et diffuse un programme différent de manière à atteindre une plus large audience en donnant satisfaction aux auditeurs qui ne désirent pas entendre toute la journée les idoles de la chanson. Sur Radio 1 et sur Radio 2, une importance spéciale est attachée au maintien d'un contact quotidien amical avec le public, que ce soit au moyen de conversations téléphoniques diffusées sur antenne, de shows se déroulant en public ou de reportages extérieurs. L'excellent service de nouvelles de la B.B.C. renforce encore la qualité de ces programmes. A elles deux, ces chaînes desservent les 3/4 de l'audience radio qui va de 12 à 13 millions d'auditeurs pour les émissions les plus populaires à quelque 50 000 auditeurs à 2 heures du matin.

Radio 3 regroupe l'ancien Troisième Programme, le programme musical et les services sportifs. Radio 3 sert également à diffuser des programmes spéciaux tels que des commentaires détaillés des matches de cricket. Sur cette chaîne sont également diffusés des programmes en stéréophonie. Radio 4 (l'ancien Home Service) est principalement consacré aux nouvelles et à leurs commentaires.

En ce qui concerne la Radio locale, des stations régionales diffusant un programme produit sur place et émettant en fréquence modulée, ont été mises en service fin 1967 et en 1968.

Le rapport du comité Pilkington était dans l'ensemble favorable aux programmes de la B.B.C. mais exprimait des doutes quant à la politique de ségrégation appliquée entre les différents genres de programmes : « En séparant les programmes en différentes catégories, on risque bientôt d'en arriver à établir une ségrégation parmi les auditeurs, d'en arriver à supposer qu'il existe certains groupes de gens qui n'aiment qu'un genre de programme et d'autres, un autre genre ; on risque de songer,

non à faire s'interpénétrer les goûts de la majorité et ceux de la minorité, mais à établir une distinction fort sèche entre des « majorités » et des « minorités » séparées, de ne penser qu'en fonction de la mode plutôt qu'en termes de qualité. »

Le comité Pilkington énonça en termes clairs deux principes fondamentaux qui doivent régir la radio et la télévision. Le premier rappelle que, vu leur importance sociale, la radio et la télévision en Grande-Bretagne ont été confiées à des corporations publiques à qui on peut demander des comptes. Elles sont dépositaires de l'intérêt national en matière de radiodiffusion et indépendantes du gouvernement. Le second principe souligne qu'il est du devoir de chaque corporation publique d'offrir un programme complet qui « informera, éduquera et divertira ». Il ne dit pas, c'est bien clair, que ces objectifs sont seulement atteints, dans le cas de la B.B.C., lorsqu'ils n'entrent pas en conflit avec les vues du gouvernement et, dans le cas de l'I.T.A., lorsqu'ils ne font pas obstacle aux rentrées financières. Il ne souligna pas non plus que, quelle que soit la manière dont est financée une chaîne de radio ou de télévision, elle ne coûte pas moins cher que si l'on devait la créer de toutes pièces. Et on ne peut imaginer que les programmes financés par la publicité soient les mêmes que ceux financés par l'Etat, car un service « libre » ne peut être offert que par une organisation « engagée à n'utiliser la radiodiffusion que pour assurer le meilleur service possible... et par une autre organisation qui est, dans une mesure importante, incompatible avec ce but. »

Les émetteurs de télévision de B.B.C. I couvrent 99,4 pour 100 de la population, ceux de B.B.C. 2,75 pour 100 et l'I.T.A. 97 pour 100. Ceci représente un progrès considérable, quoique la qualité de la réception ne soit pas entièrement satisfaisante partout. L'extension du réseau des stations de télévision a requis des canaux supplémentaires, ce qui pose le problème de découvrir des fréquences encore libres, problème que j'ai soulevé au chapitre 5. B.B.C. 1 et l'I.T.A. utilisent encore le lignage de 405 lignes d'avant-guerre alors que le 625 lignes est employé par la majorité des pays d'Europe ainsi que par B.B.C. 2, chaîne qui a démarré en 1964. Aussi le directeur général des Postes a-t-il autorisé B.B.C. 1 et l'I.T.A. à construire, parallèlement au réseau en 405 lignes, un réseau de 625 lignes en U.H.F., qui diffusera le même programme mais pourra émettre en couleurs. Les premiers

émetteurs à 625 lignes pourraient être mis en service fin 1969 ou 1970, tandis que les réseaux en 405 lignes continueraient à émettre pour quelques années encore. Du point de vue technique, B.B.C. 1 et B.B.C. 2 ont atteint un niveau de qualité excellent, mais là où les deux programmes étaient reçus parallèlement, on s'est aperçu après quelques mois qu'on ne disposait pas d'un budget suffisant pour réaliser deux programmes intéressants dotés chacun de leurs caractéristiques propres. Lors du lancement de B.B.C. 2, on avait promis aux téléspectateurs un programme « souple et audacieux », mais ce qui en fait leur a été proposé était peu différent des programmes de B.B.C. 1. Quoiqu'il soit très possible de ne pas manquer d'argent et de produire malgré tout des programmes de qualité médiocre, il est certain que, sans finances, il est impossible d'obtenir des résultats valables dans le domaine des mass media.

Le comité Pilkington, tandis qu'il fait dans l'ensemble l'éloge du sens des responsabilités de la B.B.C. lorsqu'elle établit les grandes lignes de ses programmes, concède quand même qu'il existe quelques sujets de mécontentement. Il en arrive à la conclusion que, bien que la B.B.C. soit consciente du risque que court la télévision de tomber dans la vulgarité, elle ne réussit pas toujours à éviter le piège. La vulgarité ne dépend pas nécessairement du sujet que l'on traite, mais plutôt de la manière dont on le traite. Tant que l'on considérait les émissions abêtissantes, comme le déchet inévitable d'un programme de T.V., elles constituaient un péché d'omission. Mais au moment où l'on constate que l'on peut arriver à composer d'excellents programmes sans avoir recours à elles, leur présence constitue un péché de commission ! Considérant la T.V. comme un des principaux facteurs influençant « les valeurs et le niveau de moralité de notre société », le rapport Pilkington en déduisait que les programmes devaient couvrir tous les domaines, tant par leur diversité que par leur contenu même et qu'il fallait donner suffisamment d'importance à l'information et aux émissions éducatives. Il n'y a aucun doute que la B.B.C. produit à l'occasion de très bons programmes atteignant le niveau très élevé que nous sommes tous en droit d'espérer d'elle, mais il apparaît que le plus souvent, elle abaisse le niveau de ses programmes en vue d'arracher une partie de l'audience de la télévision commerciale et le téléspectateur intelligent se retrouve face à différents programmes rivalisant de

vulgarité et de banalité. Il faut toutefois reconnaître que, ces dernières années, un effort remarquable a été réalisé pour relever le niveau des émissions, tant du côté de la B.B.C. que du côté de la T.V. commerciale.

L'U.R.S.S. nous présente un troisième type de système de radiodiffusion : le type « autocratique ». En U.R.S.S., la radiodiffusion est placée sous le contrôle du ministre des Communications. Chaque république d'U.R.S.S. possède ses propres comités de radio et de télévision qui déterminent la politique à suivre en matière de programmes et fixent le contenu de ceux-ci. Mais en fait, une censure non écrite est imposée par le parti communiste à peu près de la même façon que le Pouvoir en Grande-Bretagne impose ses vues à la B.B.C. La distribution de la radio et de la télévision par fils est beaucoup plus répandue en Union Soviétique qu'aux Etats-Unis et la plupart des récepteurs sont raccordés à l'un de ces réseaux. Dans un pays aussi vaste que l'Union Soviétique, il existe de bonnes raisons, sur le plan technique, de recourir à cette méthode de distribution par fils, mais le choix des programmes se limite à ceux offerts par les autorités centrales et régionales, du moins pour ceux qui ne possèdent pas de récepteur classique. En réalité, la situation n'est pas tellement différente de celle existant dans des pays vivant sous d'autres régimes politiques car en fait, dans chaque pays, seule une très petite minorité écoute les émissions de radio provenant des pays lointains. C'est encore plus vrai dans le cas de la télévision où il n'est pas possible de recevoir des émetteurs éloignés sans la coopération technique des pays où ils sont situés. En U.R.S.S., trois programmes nationaux de T.V. sont émis depuis Moscou et relayés par les principaux centres régionaux. Il existe en outre un grand nombre de programmes locaux spécialisés, équivalant à des télédistributions de grandes dimensions, destinés à des groupes déterminés tels que les ouvriers de l'industrie lourde, les fermiers et les enseignants. Le rythme de croissance des réseaux soviétiques de télévision est tel que, en 1970, l'U.R.S.S. viendra en seconde place dans le monde, après les Etats-Unis, en ce qui concerne à la fois le nombre d'émetteurs et le nombre de récepteurs. La T.V. en couleurs a été introduite en Union Soviétique dès 1966.

Tout comme les autres moyens de communication en Union Soviétique, la radio et la T.V., je l'ai dit, restent sous le contrôle

politique sévère du gouvernement et, en dernier ressort, sous le contrôle du parti communiste. Néanmoins, prétendre que radio et télévision ne servent qu'à véhiculer de la propagande, serait ignorer nombre de programmes dignes d'admiration. La radio-télévision soviétique, contrairement à ce qui se passe aux Etats-Unis et en Europe occidentale, s'intéresse moins au divertissement qu'à la culture et à l'éducation. Un accent particulier est mis sur la culture soviétique aussi riche et variée que n'importe quelle autre grande culture mondiale. Mais la radio diffuse l'ensemble de la musique classique européenne. Le niveau culturel et artistique de la télévision soviétique est donc très élevé bien que les programmes n'aient pas suffisamment le caractère expérimental fait pour plaire à l'avant-garde de l'Ouest. A présent, l'Union Soviétique semble avide d'établir des échanges culturels avec d'autres pays, y compris les Etats-Unis et l'Europe occidentale ; la télévision russe a déjà participé avec succès à des émissions en Eurovision. Les Russes ont déjà utilisé leurs propres satellites de télécommunication pour transmettre des émissions de télévision d'un bout à l'autre de leur immense territoire ; on a pu espérer que cela constituerait un pas en avant vers l'établissement d'un réseau de télévision mondial. Mais les Russes ont refusé de faire partie de l'INTELSAT, dominé par les Américains. Et à la conférence de Vienne, en août 1968, ils ont annoncé la création d'un réseau mondial baptisé INTERSPOUTNIK et ouvert à toutes les nations.

Après avoir passé en revue les trois grands types de radiodiffusion (commerciale, paternaliste, autoritaire), tournons-nous à présent vers les différentes radiodiffusions de langue française. Pour simplifier, nous nous en tiendrons à la télévision. Par télévisions de langue française, j'entends évidemment en premier lieu la Radiodiffusion-Télévision Française (O.R.T.F.), mais aussi les télévisions belge (R.T.B.), suisse (S.S.R.), canadienne (Radio Canada), libanaise, luxembourgeoise et monégasque. Ces diverses télévisions dispersées sur trois des cinq continents, présentent une gamme très diversifiée qui va de l'O.R.T.F. avec ses deux chaînes de télévision (dont l'une quasi complètement en couleurs) jusqu'à la T.V. libanaise qui, sur une même chaîne, diffuse alternativement des programmes en français et en anglais...

A tout seigneur, tout honneur : examinons le cas de la Télévision française. En France, la radiotélévision est un monopole

d'Etat. Ce monopole a été concédé à l'Office de Radiodiffusion-Télévision Française. Il s'agit d'un organisme dans le genre de la B.B.C. Plus encore que sa consœur britannique, l'O.R.T.F. était contrôlée par le gouvernement. La meilleure preuve est que les membres de l'O.R.T.F. qui, lors des événements de mai 1968, avaient manifesté contre cette emprise de l'Etat, furent purement et simplement congédiés. Mais, dès l'arrivée de M. Pompidou au pouvoir, le Premier ministre Chaban-Delmas s'engagea à libérer l'O.R.T.F. de la tutelle gouvernementale et prit des mesures concrètes dans ce sens.

L'O.R.T.F. a fini par introduire la publicité sur son petit écran après maintes discussions et de longues tractations. Les oppositions venaient bien sûr de la presse qui prétend, à tort ou à raison, que le budget « publicité T.V. » est retiré au budget que les annonceurs consacrent à la presse écrite. Or, chacun sait que les rentrées publicitaires sont indispensables à l'équilibre budgétaire des journaux et des magazines. Donc, l'introduction de la publicité au petit écran — d'après les gens de la presse — condamne à mort beaucoup de journaux à plus ou moins court terme. En bref, selon eux, autoriser la parution de réclames à la T.V. constitue une atteinte à la liberté d'expression, c'est tuer la démocratie !

Indubitablement l'O.R.T.F. est la plus grande des télévisions de langue française. Cependant, il faudrait se garder de limiter son rayonnement aux frontières de la France. Non seulement ses émissions sont reçues en Allemagne, en Belgique, au Luxembourg, en Suisse... mais en outre, l'O.R.T.F. diffuse l'enregistrement de ses émissions dans ses départements d'outre-mer. De plus, certaines d'entre elles (en particulier des variétés et des dramatiques) sont louées à de nombreuses autres télévisions, notamment aux chaînes francophones des T.V. belge, canadienne, libanaise et suisse.

Télé-Luxembourg et Télé-Monte-Carlo, établies chacune à un coin de l'Hexagone, nous offrent deux cas similaires. Au Grand-Duché de Luxembourg, comme dans la Principauté de Monaco, la télévision est monopole d'Etat. Sous certaines conditions, ce monopole a été concédé à une société commerciale. Bien entendu, ces programmes sont financés grâce aux rentrées publicitaires. Télé-Luxembourg et Télé-Monte-Carlo cumulent les qualités et les défauts de la télévision commerciale et ceux d'une

petite télévision. Par exemple l'essentiel des programmes est composé de films (7 ou 8 films de long métrage, en moyenne par semaine !).

La Télévision Belge d'expression française (R.T.B.) et la Télévision Suisse Romande (S.S.R.) possèdent de nombreuses caractéristiques communes. Elles collaborent d'ailleurs beaucoup entre elles. La Belgique et la Suisse sont des pays dans lesquels sont parlées plusieurs langues officielles et qui, en conséquence, ont plusieurs chaînes de T.V. La Belgique en possède deux : l'une d'expression française, l'autre d'expression néerlandaise. La Suisse, pour sa part, en a trois : française, allemande et italienne. C'est de là que viennent en partie les maux dont souffrent ces deux petites télévisions. La Belgique et la Suisse sont de petits pays. Or, la Belgique doit, tout comme la France assurer deux programmes. Et la Suisse, pis, doit en assurer trois ! Sans vouloir prétendre que la qualité d'un programme T.V. soit directement proportionnelle aux finances dont on dispose pour le réaliser, il est clair qu'on ne peut produire sans argent de grands reportages à travers le monde ou des émissions de variétés à grand spectacle... La situation de ces deux pays est rendue encore plus malaisée par le fait qu'ils sont arrosés, partiellement du moins, par les programmes des pays limitrophes. Les téléspectateurs ne manquent pas de comparer ceux-ci à leurs programmes nationaux. Inutile de souligner que leurs suffrages vont aux programmes plutôt remarquables dans l'ensemble de la France, de l'Allemagne et de l'Italie, entre autres.

La solution, du moins partielle, à leurs problèmes financiers est évidemment la publicité. La Suisse l'a très bien compris puisqu'elle l'a introduite sur ses antennes depuis 1965, avec cette curieuse particularité qu'une partie des recettes retourne à la presse. Quant à la Belgique, bien que désormais tous ses voisins diffusent de la publicité, elle s'y est refusée jusqu'à présent en raison de l'opposition de la presse ; car pour autoriser la réclame sur le petit écran, il faudrait voter une loi, loi qui devrait être votée par les parlementaires, lesquels sont soutenus par la presse. Nous sommes donc enfermés dans un cercle vicieux dont, par la force des choses, il faudra bien sortir un jour. On ne s'étonnera donc pas si la T.V. suisse émet déjà en couleurs depuis octobre 1968 et si, à l'opposé, la pauvre T.V. belge ne l'espère pas, au mieux, avant 1971.

A présent, sautons par-dessus l'Atlantique qui est devenu maintenant la « rivière Atlantique » que l'on traverse sans difficulté, que ce soit physiquement en Jet ou par la télévision grâce aux satellites de télécommunications. Nous atterrissons au Canada. Ici aussi on parle deux langues : français et anglais. Donc les programmes T.V. sont diffusés dans les deux langues. Le système canadien ressemble un peu au système britannique : il y coexiste deux chaînes : l'une dépendant de l'Etat (Radio Canada) et l'autre étant une chaîne commerciale privée. Chaque chaîne, privée ou d'Etat, admet la publicité. Mais le Canada nous offre un cas tout particulier : des stations commerciales sont affiliées au réseau d'Etat ! Elles retransmettent la majorité des programmes de Radio Canada mais y ajoutent des publicités propres et des programmes de leur cru. En outre, il existe au Canada de nombreux réseaux de télédistribution (distribution par câble des images reçues au moyen d'une antenne collective) qui diffusent, en plus, leurs propres programmes.

Retraversons l'Atlantique et, sur notre lancée, bondissons au-dessus de la Méditerranée : nous nous retrouvons en Asie, plus précisément au Liban. Dans ce petit pays de 2 300 000 habitants, coexistent trois langues : arabe, français et anglais. Comment est organisée la T.V. dans ce contexte ? Inutile de dire qu'elle est laissée à l'initiative privée. Deux organismes possèdent des stations d'émission : la Compagnie Libanaise de Télévision (C.L.T.) à capitaux français et « Télé-Orient » à capitaux américains. Chacune de ces compagnies diffuse deux programmes. Ainsi, ce minuscule pays, grand comme un tiers de la Belgique, possède 4 chaînes de T.V., ce que n'ont ni la France, ni l'Angleterre, ni l'Allemagne ! Les programmes sont diffusés dans les trois langues. Ainsi, le « Canal 7 » de la C.L.T. diffuse alternativement des émissions en français et en anglais tandis que son « Canal 5 » donne un programme en arabe. Notons qu'un Libanais quelque peu instruit est bilingue ou même trilingue. Evidemment, il s'agit de programmes commerciaux, pas toujours les meilleurs du genre. Il apparaît par ailleurs que l'audience restreinte ne permet pas d'avoir des tarifs publicitaires capables d'équilibrer les budgets. On envisage la fusion des deux compagnies libanaises.

De ce passage en revue de différents types d'organismes de télévision incarnant diverses conceptions et résultant de différents contextes, il ressort clairement que radio et télévision peuvent

être utilisés pour le meilleur comme pour le pire. Merveilleux instruments de divertissement, d'information et de culture, la radio et la T.V. peuvent tout aussi bien être employées pour éveiller l'antagonisme entre individus, groupes sociaux ou même entre nations. Au pire, les programmes qu'elles nous présentent peuvent être vulgaires, diffamatoires, hypocrites ou franchement déshonnêtes ; ils peuvent ne rechercher que le sensationnel ou déformer sciemment la vérité, être pernicieux et corrupteurs ou encore abêtissants ou tendancieux. Mais ce serait une aussi grande erreur de les condamner pour tous ces chefs d'accusation que de les accepter sans aucune restriction. La radio, la télévision et la musique enregistrée ne peuvent être maintenues dans les limites où des intérêts restreints aimeraient les confiner. Elles constituent essentiellement des moyens de diffusion offrant un attrait très grand que chaque progrès technique ne fait qu'accentuer. La B.B.C. avait adopté comme devise : « La Nation s'adresse pacifiquement aux Nations » ; mais cette idée s'écroula sous le poids de la multitude des langues issues de la tour de Babel qui rend incompréhensible la langue d'une tribu par une autre tribu se trouvant à un jet de pierre. En matière de radio, les programmes destinés à la consommation nationale furent souvent d'une excellente conception tandis que la majeure partie des programmes en langues étrangères diffusés par la B.B.C., par la Voix de l'Amérique, par Radio Moscou et par beaucoup d'Etats africains et asiatiques ayant nouvellement accédé à l'indépendance, ne véhiculaient qu'une propagande plutôt agressive au lieu de tenter de créer des liens d'amitié entre les nations. Néanmoins, les progrès techniques qui ont donné naissance à la télévision et à la musique enregistrée ont aussi créé un moyen universel permettant des échanges culturels entre les différents pays, échanges qui deviennent réalité grâce à la distribution à travers le monde entier de programmes enregistrés et permettent à des régions du globe toujours plus grandes d'être couvertes par des relais de télévision, tel que le réseau Eurovision, et au moyen de satellites de télécommunications.

Avant l'avènement de l'électronique, seul un petit groupe de privilégiés pouvait jouir de la grande musique car ses membres étaient riches assez, suffisamment cultivés ou accomplissaient les déplacements nécessaires pour assister aux interprétations des quelques rares orchestres ou musiciens de premier ordre. Grâce à

l'électronique, la grande majorité des gens reçoivent cette musique à domicile et peuvent l'écouter chaque fois qu'ils en ont l'envie. Ceux qui, grâce à la radio et au disque, ont accès à la bonne musique depuis leur enfance ont quelques difficultés pour comprendre le changement qui est intervenu. Celui-ci a amené Constant Lambert à se plaindre de « l'épouvantable popularité » de la musique à notre époque moderne. Il craignait que, par sa constante répétition, même la plus merveilleuse musique ne soit submergée par le niveau toujours croissant des bruits que nous tolérons aujourd'hui. Je dois avouer que je préférerais un arrière-fond musical permanent s'il constituait la seule alternative possible au vacarme de plus en plus élevé que les habitants des villes semblent à présent accepter avec tant de résignation. Et quoique je ne sois pas un fanatique de la musique yé-yé, elle est préférable au bruit d'un avion à réaction si l'on vit à proximité d'un aéroport important où, par conséquent, il est impossible de jouir de n'importe quel genre de musique et encore moins de la béatitude du silence. En outre, il me semble que certains genres de musique — Bach, Mozart et Scarlati, par exemple — convenablement enregistrés et reproduits avec une puissance suffisante, constituent le plus délicieux des accompagnements lorsqu'on s'adonne aux loisirs ou à quelque occupation tranquille. Même ces amoureux de la grande musique qui insistent pour qu'on suspende toute autre activité lorsqu'on écoute de la musique classique, admettront que Mozart, par exemple, écrivit certaines de ses meilleures œuvres comme musique de table.

La télévision surmonte beaucoup des difficultés dont est composée la barrière des langues, spécialement lorsque ses programmes sont conçus et réalisés pour plaire à l'audience la plus large possible. La meilleure télévision sera celle qui surmontera complètement la barrière des langues. Le paradoxe de la télévision est que, lorsqu'elle fait tout pour fournir un divertissement léger visant à atteindre le plus grand commun dénominateur à tous les téléspectateurs, ce programme se révèle être très ennuyeux et peu intéressant. Par contre, lorsqu'il est réalisé avec honnêteté et sincérité en vue d'ouvrir les yeux du téléspectateur, de l'instruire ou même d'éveiller sa compassion, il peut en résulter un divertissement captivant et une œuvre d'art originale. De toute façon, il est inutile d'essayer d'ignorer la télévision ou de déclarer qu'elle n'est pas faite pour les gens civilisés. Déjà la télévision absorbe

l'industrie du cinéma et il se pourrait bien qu'à l'avenir, toute la présentation à l'homme de la rue des réalisations des arts graphiques se fasse par son intermédiaire. L'enseignement aura de plus en plus recours à elle. A l'âge de la Pierre, la culture était transmise dans une large mesure de bouche à oreille et de main à main. A la Renaissance, la culture se répandit grâce aux voyages, à la peinture, à l'architecture et à l'imprimerie. A notre époque, ce sont les moyens électroniques qui apporteront la culture à des millions d'individus — la culture deviendra alors véritablement une culture populaire.

TROISIEME PARTIE

Vers le monde de demain

Chapitre 12

LA SCIENCE DU CONTROLE

Vivre vraiment, c'est vivre en recevant les informations adéquates.
Norbert Wiener : *Cybernétique et Société.*

Le dernier-né de l'âge de l'électronique est une science nouvelle dénommée « cybernétique ». Encore dans l'enfance, cette nouvelle discipline, aux possibilités multiples, a hérité d'une sorte de mythologie toute faite. Elle apparaît sous de nombreux déguisements étranges ou merveilleux tels que les automates autocrates, les robots qui se rebellent contre leurs constructeurs, les mutants doués de muscles formidables et toute la galerie d'êtres fantastiques sortis de l'imagination des écrivains de science-fiction. Ceux-ci ont laissé leur imagination se déchaîner. On parle de la cybernétique dans les magazines où elle est tournée en dérision et les producteurs de films d'épouvante à bout de ressources s'en sont servis pour réaliser leurs œuvres les plus effrayantes. Quelques syndicalistes sont opposés à son utilisation ; beaucoup d'enseignants s'en méfient ; des politiciens de tous bords déclarent l'accueillir avec bienveillance. Il en résulte que beaucoup de gens sont déconcertés, mais je pense que la cybernétique exercera une influence si importante sur notre avenir qu'il est indispensable de faire un effort pour comprendre les principes élémentaires sur lesquels elle repose.

Le terme « cybernétique » dérive du grec *kubernetes* qui signifie « pilote de navire » et qui est à l'origine de notre mot « gouverneur ». Le mot « cybernétique » fut inventé par Norbert Wiener, professeur de mathématiques à l'Institut de Technologie du Massachusetts (M.I.T.), juste après la seconde guerre mon-

diale. Il découvrit plus tard que le terme *cybernétique* avait été utilisé environ un siècle plus tôt par Ampère pour désigner la science du gouvernement. Le professeur Wiener s'aperçut bientôt que l'étude de la transmission des messages au moyen de signaux électriques l'amenait à aborder un domaine beaucoup plus large qui inclut l'étude du langage, l'étude des messages considérés comme moyens pour contrôler et guider les machines tout comme la société, la mise au point des ordinateurs et des automates, certains aspects du système nerveux humain, et une nouvelle théorie concernant la méthode scientifique[1].

Dans son livre *La Cybernétique* publié en 1948, Norbert Wiener emploie ce terme pour désigner l'ensemble de ce vaste domaine qu'il définit comme « la science de la communication et du contrôle chez l'animal et dans la machine ». Cette définition apparemment innocente se révéla avoir des implications très profondes sur la société. Certaines de ces implications furent étudiées par Wiener dans son premier livre, *La Cybernétique*. Quoiqu'il ait provoqué beaucoup de remue-ménage parmi le monde des savants, ce livre était essentiellement technique, la plupart des idées étaient exprimées en langage mathématique. C'est pour rendre ces idées plus accessibles au public non spécialisé que Wiener écrivit *Cybernétique et Société* en 1950. Dans ce livre, Wiener développe et exprime ses idées dans un langage simple et il y énonce sa thèse maîtresse : « La Société ne peut être comprise qu'à travers l'étude des messages et des canaux de communication qui lui sont propres. Dans l'évolution future de ces messages et de ces canaux de communication, les messages entre l'homme et les machines, entre les machines et l'homme, et entre les machines et les machines, sont destinés à jouer un rôle d'une importance toujours croissante. » Relativement peu de temps s'est écoulé depuis que ces lignes ont été écrites, mais déjà elles ont inspiré une attitude nouvelle et une approche expérimentale neuve qui se sont révélées très fructueuses dans beaucoup de branches de la science et qui sont en train de nous pousser à accomplir des progrès révolutionnaires en matière de sciences sociales.

Une conception cybernétique de l'Univers donne autant de

1. Voir aussi *Le dossier de la cybernétique,* Marabout Université n° 150, 1968.

poids au concept d'*Information* qu'elle en donne aux concepts classiques de Matière et d'Energie. A considérer certains types de systèmes, le contenu de l'information prend une importance primordiale et on peut l'étudier indépendamment des caractéristiques physiques de ce système. Afin d'illustrer l'importance et l'étendue du domaine d'application de la méthode cybernétique, je vais tenter de l'appliquer à différents systèmes autorégulés. Le sens de l'expression « autorégulé » apparaîtra au cours de notre exposé. Les exemples que j'ai choisis constituent une gamme très diversifiée, tant par les caractéristiques de ces exemples que par leur niveau de complexité, et elle comprend à la fois des cas concrets et des cas imaginaires. Mais ils ont tous au moins une chose en commun : chacun d'entre eux vise à atteindre un but déterminé.

Comme l'expression « but déterminé » peut avoir un contenu sentimental pour certains lecteurs, j'aimerais d'abord insister sur le fait que, dans ce contexte-ci, elle est simplement employée pour décrire un certain type de comportement qu'ont les systèmes autorégulés. C'est justement cette caractéristique qui distingue ces systèmes des autres : par exemple, du type de système représenté par le jeu de la roulette qui n'est pas (ou du moins qui ne devrait pas être) à but déterminé, et que l'on appelle un système *stochastique* (c.à.d. qui n'est soumis qu'aux lois du hasard) pour signifier que n'importe quel nombre sorti est totalement indépendant de celui qui le précède ou de celui qui lui succède. Il n'est pas nécessaire d'introduire dans l'idée de « but déterminé » une idée de moralité ou un concept de force vitale ou encore un quelconque concept théologique, pas plus qu'il n'est indispensable d'invoquer le dieu de la chance pour que la roulette s'arrête de tourner. Ceux qui ressentent la nécessité, dans le cas de systèmes vivants, de soulever la question « Qui détermine le but ? », pourraient utilement méditer, par exemple, la très intéressante idée du Dr W. Ross Ashby qui prétend qu'un mécanisme qui, au départ, est livré au hasard, pourrait se découvrir lui-même un but par un processus d'apprentissage, à condition qu'il soit doté d'un système capable d'apprendre.

Le régulateur de Watt

Il y a environ deux cents ans, James Watt inventa un appareil empêchant sa machine à vapeur de s'emballer lorsque la pression devenait trop forte. Cet engin se compose d'un axe vertical qui tourne grâce au moteur et qui comporte deux lourdes boules de métal fixées chacune au bout d'un bras attaché à un anneau placé autour de l'axe. Lorsque l'axe se met à tourner plus vite, les boules s'en écartent sous l'action de la force centrifuge et lorsque le mouvement se ralentit, les boules se rapprochent de l'axe. Ces variations de la vitesse de rotation de l'axe se traduisent donc par un mouvement de montée et de descente du collier

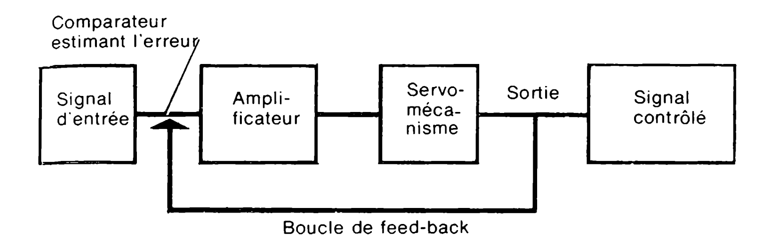


Figure 54. Ce schéma-bloc illustre le principe d'un circuit à feed-back.

placé autour de l'axe, mouvement qui commande à son tour l'ouverture ou la fermeture d'une soupape qui permet l'échappement de la vapeur et, par conséquent, qui accroît ou ralentit la vitesse.

Ce mécanisme très simple illustre très bien un important principe de contrôle appelé *feed-back** ; une fraction de l'énergie est prélevée à la sortie et appliquée à l'entrée (voir fig. 54). Dans ce cas-ci, le feed-back est *négatif* car, moins élevé est le signal de retour, plus grande est la vitesse — et inversement — et le résultat, on l'a compris, est de maintenir constantes les caractéristiques de sortie du système (par exemple la vitesse). En 1868, Clerk Maxwell établit les équations mathématiques régissant ce système de contrôle. Il estima que, d'une manière générale, elles

étaient valables pour tous les autres systèmes de ce genre. On peut relever d'autres exemples qui sont très connus : le four ou le réfrigérateur dont la température est maintenue constante grâce à un thermostat et la commande automatique du volume sonore d'un poste de radio. En termes de cybernétique — lesquels semblent très compliqués quand on les applique à des systèmes aussi simples — nous dirions que l'objectif du régulateur mécanique de Watt est de maintenir constante la vitesse du moteur et, en vue d'atteindre cet objectif, différentes parties de la machine communiquent entre elles et tiennent compte de ce que la machine a déjà « dit ». Toutefois, l'information dont on se sert est réduite, le langage est extrêmement condensé, sa mémoire est d'un type très rudimentaire et sa capacité d'apprentissage, nulle.

La tortue électronique

De la jungle très dense composée de fils, de lampes, de relais, de servomécanismes, de cellules photo-électriques, d'éléments de meccano et de tas d'autres pièces détachées qui s'épanouissent dans les laboratoires de recherches, ont émergé des créatures très séduisantes et qui nous ont beaucoup appris. L'une d'entre elles, conçue pour mettre en œuvre certains principes de cybernétique que l'on retrouve en biologie, est la tortue électronique construite par le Dr W. Grey Walter, chef du Burden Neurological Institute, de Bristol, en Angleterre. Le Dr Grey Walter qui préfère appeler son petit animal *Machina Speculatrix*, en décrit les mœurs dans son livre *The Living Brain*[1].

Cette tortue électronique est un mécanisme conçu pour explorer son milieu et chercher à atteindre un objectif qui lui a été fixé : elle se déplace selon une série de courbes de sorte qu'après une heure elle a examiné plusieurs centaines de mètres carrés. Elle ne reste jamais en place excepté lorsqu'elle « mange » c'est-à-dire lorsque ses batteries sont en train de se recharger. Elle contourne n'importe quel obstacle mais est arrêtée par les esca-

1. Voir aussi *L'homme, ses structures, sa physiologie,* par J. Asimov, tome 2 : *le cerveau.* Marabout Université, N° 78, 1965.

liers et les tapis de fourrure. Elle est fortement attirée par une source lumineuse d'intensité modérée parce qu'elle comporte des cellules photo-électriques connectées à des amplificateurs reliés à ses moteurs de sorte que, lorsqu'elle capte un signal convenu, elle arrête ses investigations et se dirige vers la source lumineuse. Normalement, son photorécepteur pivote continuellement, explorant l'horizon à la recherche de signaux lumineux ; le processus d'exploration est lié au mécanisme dirigeant l'animal de sorte que « l'œil » regarde toujours dans la direction du déplacement et que la machine est prête à répondre à un signal provenant de n'importe quelle direction. Mais si la source lumineuse est très brillante ou si elle rencontre des obstacles sur son chemin ou des pentes trop raides, *Machina Speculatrix* éprouve une répulsion, car ses circuits sont réglés de façon telle qu'une lumière intense ou un léger basculement dans le sens vertical provoque la transformation de son amplificateur en un oscillateur qui la fait alors alternativement buter sur l'obstacle puis effectuer un mouvement de recul.

La tortue fait montre d'un tropisme négatif : elle repousse les petits obstacles s'interposant sur son chemin, contourne les obstacles importants et évite les pentes. Dotée de discernement, elle établit une différence entre un comportement efficace et un autre n'ayant aucun effet, car elle perd tout intérêt envers une source lumineuse lorsqu'elle rencontre un obstacle en se dirigeant vers elle. Elle cherche à rencontrer des conditions favorables plutôt que les conditions offrant une efficacité maximum. Si on la place à égale distance de deux sources lumineuses d'intensités identiques, elle se dirige vers l'une, puis vers l'autre, se comportant ainsi différemment de l'âne de Buridan qui mourut de faim et de soif, figé à mi-chemin entre un seau d'eau et un picotin d'avoine également attirants. En installant sur la tête de la tortue une petite lampe qui s'éteint automatiquement chaque fois que la cellule photo-électrique capte un signal lumineux d'intensité satisfaisante, on ajoute ainsi aux capacités de la tortue celle de l'auto-identification. La lumière, provenant de sa lampe frontale et réfléchie par un miroir, est suffisante pour qu'elle réagisse à cette lumière et donc, se dirige vers son image reproduite par le miroir. A ce moment, la lumière frontale se coupe, ce qui supprime le stimulus avec pour conséquence de rallumer la lampe frontale donc, de déclencher à nouveau le

stimulus... de sorte que l'étrange créature danse une valse-hésitation devant le miroir, s'excitant elle-même et se jetant des coups d'œil en coin.

Deux animaux de la même espèce possèdent la propriété de se reconnaître mutuellement. Attiré par la lumière frontale de l'autre, chacun éteint alors sa propre lumière et le couple tour à tour attiré et repoussé ne peut que s'immobiliser jusqu'à ce qu'une excitation extérieure vienne dénouer cette situation. Un groupe composé de *Machina Speculatrix* ressemblerait à une communauté très anarchique puisque, si on leur proposait un objectif commun, elles emprunteraient le chemin l'une de l'autre. Néanmoins, une collaboration entre elles pourrait être obtenue si l'on augmentait la complexité de leurs circuits internes.

Le Dr Grey Walter souligne que doter *Machina Speculatrix* d'autres sens que celui de la vue et du toucher ne serait qu'une question de patience et d'ingéniosité. De même, on pourrait l'équiper de mains et attacher à chaque doigt un outil différent ; on pourrait aussi la pourvoir d'une mémoire et lui ajouter des circuits de contrôle la rendant capable d'apprendre à manier ces outils. En fait, elle constitue un excellent modèle qui nous éclaire sur le fonctionnement du cerveau. Si l'on remplaçait les circuits lui permettant l'exploration de son milieu par un programme qui la rendrait capable de mener à bien une série de tâches prédéterminées, on la transformerait en ce genre de robot que Wiener préconise d'utiliser pour remplacer l'homme dans les tâches répétées indéfiniment dans les usines. Mais cette machine ne resterait pas plus longtemps le reflet d'un cerveau élémentaire : il en serait réellement un.

Il n'y a que deux circuits différents dans la tortue électronique et ils correspondent à deux cellules nerveuses du cerveau. Chacun de ces « réflexes » opère grâce à deux « récepteurs » : une cellule photo-électrique qui rend cet organisme artificiel sensible à la lumière, et un contact électrique qui simule le sens du toucher. Néanmoins, cet ensemble très simple peut engendrer un nombre de comportements étonnamment complexes et imprévisibles. N'est-il pas aberrant dès lors de vouloir fixer des limites à la gamme des comportements humains quand on sait que le cerveau contient, non pas deux cellules nerveuses, mais 10 millions ?

Une machine à enseigner

Les visiteurs de la Société d'Assurances Coopératives à Manchester pourraient très bien être surpris à contempler, ébahis, une jeune femme enfonçant les touches d'un instrument qui pourrait être pris pour un piano. Mais aucune musique ne sort de cet instrument installé dans ce temple de la finance. Le seul bruit que l'on perçoit est le cliquetis assourdi des contacts de relais, accompagné par le clignotement de petites lampes. Si l'on y regarde de plus près, on s'aperçoit que l'opératrice ne fait que reproduire sur un clavier composé principalement de chiffres, des nombres apparaissant devant elle.

Cet appareil est un instructeur automatique à clavier servant à l'entraînement des opératrices chargées de réaliser des cartes perforées. Sur la partie supérieure de la console, un nombre est affiché sous la forme de chiffres lumineux que l'élève doit reproduire sur le clavier. En dessous se trouve un autre panneau sur lequel les positions du clavier des chiffres sélectionnés apparaissent sous la forme d'indications très lumineuses. L'élève commence tout d'abord par reproduire sur le clavier de petites séries de chiffres et le résultat est enregistré dans une mémoire électronique. Les instructions sont alors données par un ordinateur en fonction de la qualité du travail ; si l'élève éprouve des difficultés à utiliser certaines touches, l'ordinateur les lui fait utiliser plus fréquemment jusqu'à ce qu'elle s'en serve convenablement. Au fur et à mesure que l'élève accomplit des progrès, elle doit taper de plus longues séries de chiffres et les indications lumineuses deviennent plus pâles. Finalement, celles-ci n'apparaissent plus du tout et l'opératrice travaille alors à la vitesse maximum dont elle est capable (voir fig. 55).

Ce modèle de machine à enseigner s'adaptant aux progrès de l'élève fut conçu et réalisé par Gordon Pask, un jeune cybernéticien britannique qui a déjà acquis une réputation internationale. Dans un livre très excitant intitulé *An approach to Cybernetics*, il expose dans leurs grandes lignes les principes sur lesquels reposent ses machines. « Enseigner, dit-il, consiste à diriger l'acquisition d'un *talent*... Apprendre demande une attitude active et l'on n'apprend que là où il y a motivation. Enseigner exige un certain effort de la part du professeur. Il en découle

qu'une « machine à enseigner » et un étudiant réagissent l'un sur l'autre. Des appareils à projection fixe et des simulateurs qui se contentent de présenter l'information, n'*enseignent* pas. » Cette interaction de l'étudiant et du professeur requiert pour chacun d'eux des systèmes de contrôle s'adaptant perpétuellement. « Un cerveau est modifié par les événements qui se sont succédé au cours de sa vie mais, comme tout autre réseau évolutionnaire, *il* n'apprend pas. L'étudiant qui *apprend* est un système développé à *l'intérieur* du cerveau. Quand le système considéré dans son ensemble est stable, les deux sous-systèmes, l'homme et la machine, ne font plus qu'un. L'étudiant utilise alors pour résoudre un problème aussi bien les informations provenant de la machine que les informations provenant de son cerveau. Toutefois, ceci ne signifie nullement qu'ils soient mélangés physiquement. » Cet échange intime de messages entre l'homme et la machine exerce une fascination et une contrainte particulières qui sont ressenties par la plupart des individus conversant avec des machines à enseigner qui s'adaptent aux progrès accomplis par l'élève.

Jusqu'où peut-on aller dans l'enseignement en recourant à ce genre de machine ? Son but n'est pas d'enseigner aux jeunes enfants et elle n'y parviendrait probablement pas, mais il est tout à fait évident qu'elle est très efficace pour enseigner certaines choses aux adultes. Suivant Pask, ses machines peuvent enseigner n'importe quelle matière à condition que celle-ci puisse être structurée, c'est-à-dire fractionnée en une série d'éléments de connaissance qui peuvent être arrangés approximativement dans un ordre de difficulté croissante. Ceci couvre la plupart des matières dont la connaissance est nécessaire dans l'industrie, les affaires, la technique et la recherche scientifique et qui sont enseignées par l'enseignement traditionnel ou apprises grâce à l'expérience. Cela exclut, en général, tout ce qui demande de l'originalité et un talent créatif. Les machines que nous produisons à présent ne sont pas capables de tenir cette sorte de débats animés qui se déroulent entre les meilleurs professeurs et leurs meilleurs élèves et qui, parfois, s'achèvent par la production d'une œuvre d'art, par une contribution durable à la culture ou par une nouvelle découverte scientifique.

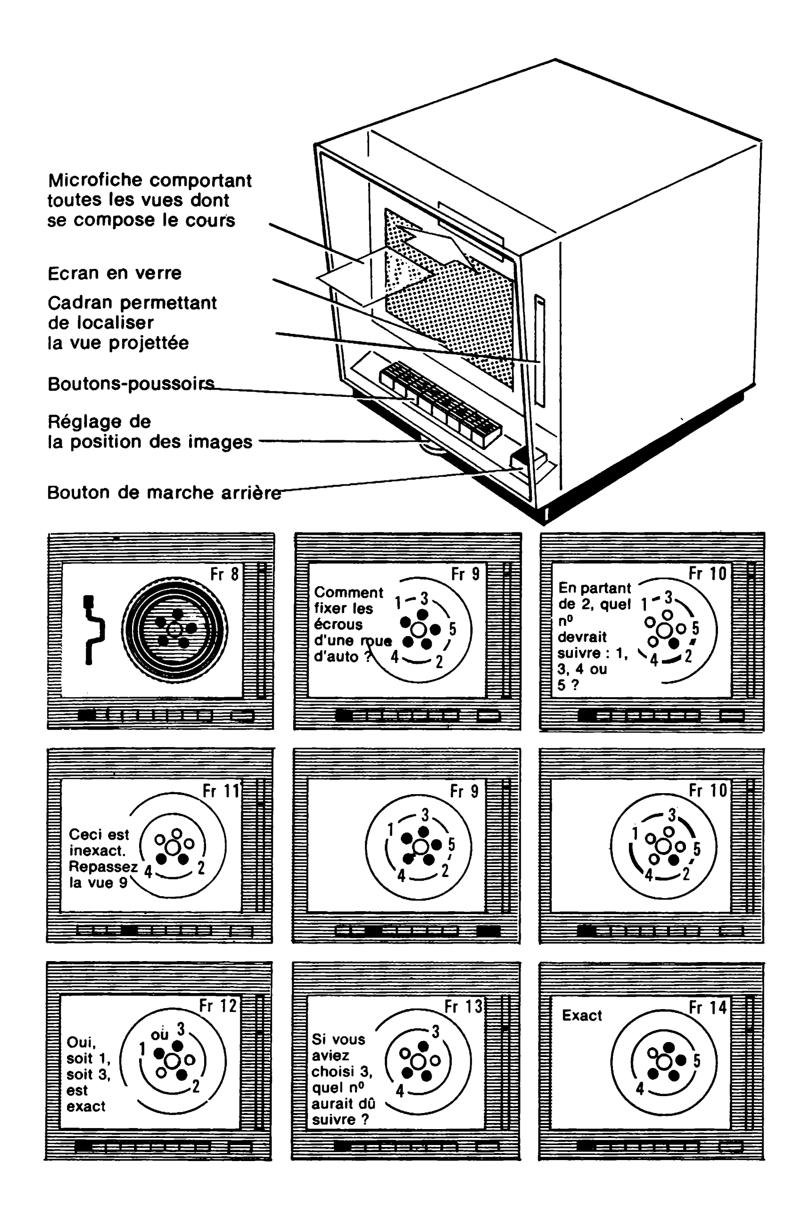


Figure 55. Une machine à enseigner moderne employant les techniques d'affichage visuel. La série de vues illustre le déroulement d'un cours d'enseignement programmé.

Une usine cybernétique

La théorie de la cybernétique se révèle être très éclairante lorsqu'on l'utilise pour considérer le cas hypothétique d'une usine entièrement automatique telle que celle évoquée au chapitre 7. L'affirmation de Wiener concernant la part croissante prise par les messages échangés entre l'homme et la machine, et entre la machine et la machine, est démontrée de manière saisissante.

La matière, l'énergie et l'information circulent à travers l'usine. Chacune est traitée de façon particulière et est incorporée dans les produits qui sortent de l'usine. Mais nous considérerons ici que le facteur clé est l'information qui déterminera le rôle de l'usine, son rendement, ses objectifs et la voie pour les atteindre. Toutes les opérations accomplies dans l'usine seront réglées par un ordinateur principal servant de contrôleur de la production et placé sous la surveillance de la direction. Toutes les informations concernant les commandes, les ventes, les tendances du marché, etc., sont introduites dans cet ordinateur où elles sont analysées et combinées avec d'autres informations traduisant la politique de la direction. Nous laisserons de côté, pour le moment, la question de savoir si la politique de la direction est sage ou non. Nous noterons simplement que la « discussion » qui se tient, se traduit par un flot de messages qui sortent de l'ordinateur central pour se répandre vers les ordinateurs secondaires installés dans les réserves, sur les chaînes de production et sur les chaînes d'assemblage et de triage.

Les processus de fabrication se déroulant aux différents stades de la production résultent d'un échange de messages entre les ordinateurs secondaires et la centrale électrique, les convoyeurs, les chaînes de production, les machines-outils, l'équipement de surveillance et les machines d'assemblage et d'emballage. L'essentiel de tous ces messages est enregistré et traité dans le but de fournir des statistiques, de fixer les coûts et de rédiger les factures. Tout écart à la ligne de conduite prévue par le programme, tel qu'une panne causée par un outil qui s'est brisé ou un tournevis coincé dans un engrenage, est immédiatement signalé au contrôle central. Notre usine cybernétique comporte naturellement des systèmes de contrôle s'adaptant à l'évolution de la situation. Le compte rendu de ce qui se passe n'est pas

seulement destiné à être enregistré mais il constitue une partie essentielle du système de contrôle s'adaptant à la situation. Grâce à lui, celui-ci établit la stratégie optimum à suivre face à n'importe quelle circonstance. Comme ceci implique, au moins, pour l'ordinateur central la capacité de prendre des décisions, il apparaît clairement que certaines des fonctions remplies par les directeurs en chair et en os font double emploi. Toutefois, les hommes ne doivent pas, en conséquence, abandonner leur rôle aux machines. Comme nous l'avons déjà souligné, la duplication des responsabilités peut être très souhaitable : tout qui a perdu un œil ou une main vous le confirmera.

Au chapitre 7, quelques-uns des problèmes déplaisants qui accompagnent l'introduction de l'automation ont été soulevés. Parmi ces problèmes, nous retrouvons les vieux problèmes du chômage, du sous-emploi et de la surproduction aussi bien que les problèmes nouveaux posés par un grand nombre de travailleurs dont les qualifications sont démodées et qui disposent de beaucoup plus de temps de loisirs qu'ils ne sont capables d'en utiliser. Si l'on ne s'occupe pas de résoudre ces problèmes, la misère et l'avilissement qui ont accompagné la première révolution industrielle pourraient se répéter sur une plus grande échelle avec la révolution de l'électronique. Ces problèmes peuvent être résolus par le recours à la cybernétique à condition que l'on abandonne certains préjugés tenaces concernant la nature de la production industrielle et que, grâce à une analyse basée sur une information et une étude adéquates de l'interaction entre l'individu et l'ensemble de la société, on cesse de défendre abusivement les intérêts de certaines minorités et on évite de prendre des décisions arbitraires.

Examinons les implications de la production automatique considérée comme un système à but déterminé. Quels en sont les buts ? En Amérique ou en Europe occidentale, le principal objectif sera certes l'enrichissement des actionnaires d'une entreprise déterminée. C'est ce qui détermine les caractéristiques du système et la manière dont il fonctionne. Si cet objectif peut être atteint avec la moitié seulement du personnel employé avant l'introduction de l'automation, et s'il n'existe aucun travail immédiatement rentable à confier à cette moitié du personnel, il est de trop, et il est très probable qu'il sera licencié. Il existe un certain nombre d'autres solutions possibles : on pourrait garder tout le

personnel et doubler la production ; le même personnel pourrait fournir une production équivalente mais en travaillant seulement la moitié du temps sans aucune réduction de salaire ; la moitié du personnel pourrait être recyclée de manière à devenir apte à accomplir d'autres travaux. Dans le système capitaliste, la solution adoptée est celle qui consiste à faire des bénéfices au profit de certaines personnes, mais ce genre de bénéfices n'est qu'un des objectifs possibles. Si, par exemple, la suppression du chômage devenait un objectif prioritaire sur la recherche du profit, on peut imaginer des usines cybernétiques employant un grand nombre d'ouvriers qualifiés ne travaillant que quelques heures par semaine, fabriquant des objets dont la production requiert l'utilisation maximum des talents du personnel. Suivant nos politiciens, le but affiché de l'industrie est la production maximum mais jusqu'à présent, les méthodes employées pour atteindre ce but se limitent à des exhortations. Combien sont préparés à appliquer les principes de la cybernétique pour résoudre le problème et, de ce fait, introduire la théorie dans la pratique ? Qu'arriverait-il si la solution préconisée demandait la suppression du profit capitaliste ou l'élimination des pratiques restrictives ?

Un réseau mondial

Comme dernier exemple des applications de la cybernétique, j'aimerais que le lecteur m'accompagne dans un voyage imaginaire. Le vaisseau qui nous emporte possède des propriétés remarquables (c'est une machine espace-temps) mais je ne l'ennuierai pas avec sa description détaillée, description que feraient d'ailleurs mieux que moi les experts ès-science-fiction. Cet engin nous a transportés à travers le temps et nous débarquons, au XXIe siècle, à la Nouvelle-Genève. Les Nations unies (qui comprennent maintenant la Chine continentale) contrôlent désormais tous les armements nationaux et toutes les forces armées. L'O.N.U. a été rebaptisée A.U.N.T. (Augmented United Nations with Teeth) ou AUNT[1] (voir fig. 56). Aller de l'héli-

1. N. du T. : *Aunt* en anglais signifie Tante.

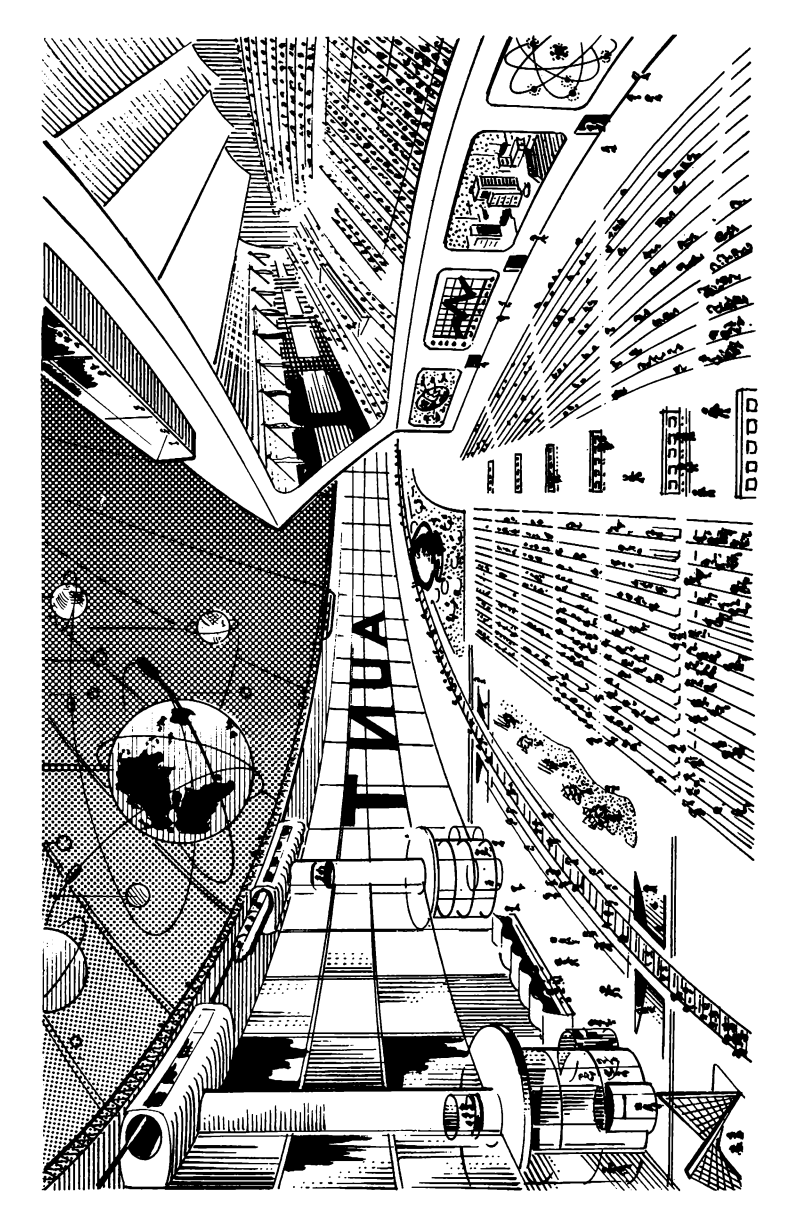


Figure 56. Le hall d'entrée de l'AUNT, au XXIe *siècle.*

port aux vastes quartiers de l'Aunt à travers de magnifiques parterres de fleurs, constitue une promenade très agréable. Installés au milieu des parterres, nous reconnaissons des antennes de différents types et surmontant les hauts buildings, leurs mâts effilés dessinent dans le ciel des formes géométriques. Notre guide nous explique que, sous nos pieds, dans de profonds caniveaux, sont placés des milliers de kilomètres de câbles ; conçus pour résister aux tremblements de terre, ils transportent toutes sortes de communications ; ils sont reliés aux câbles internationaux.

Comme nous entrons, on nous distribue à chacun un poste de radio-télévision et un interrogateur d'ordinateur qui nous relient aux systèmes complexes de communications et d'informatique d'Aunt et, par conséquent, au monde entier. Dans le hall d'entrée, se trouvent un certain nombre d'écrans géants de télévision. Sur l'un d'eux, on voit une image de l'immense salle de conférence où plusieurs milliers de délégués de toutes les parties du monde discutent du problème à l'ordre du jour. Un autre écran donne le total continuellement variable du nombre de naissances et du nombre de décès, les taux de natalité et de mortalité ainsi que le chiffre actuel de la population mondiale. Un troisième présente une liste des services mis à notre disposition et leur numéro de code correspondant sur nos interrogateurs. Cette liste indique :

005 Communications internes de l'AUNT.
010 Liaisons extra-terrestres
022 Météo mondiale
023 Ressources mondiales en matière et énergie
024 Bionomique mondiale
025 Population mondiale
026 Economie mondiale
051 Enseignement
052 Bibliothèques et musées
080 Actualités

Sur la recommandation de notre guide, nous appuyons sur le bouton 005 et une liste complémentaire apparaît sur nos moniteurs : 0051 explique l'historique et l'organisation de l'Aunt. Les minuscules écouteurs que nous avons introduits dans nos oreilles

nous donnent, dans la langue de notre choix, une description du fonctionnement de l'Aunt. Nous réalisons que nous sommes au centre d'un réseau mondial de contrôle et de communication sur lequel repose le Gouvernement Mondial et que nous sommes devenus citoyens du monde.

Les délégués à l'Aunt, apprenons-nous, représentent quelque six milliards de gens de toutes races et de toutes croyances, lesquels possèdent tous, non seulement le droit, mais aussi la possibilité, grâce à la technique, de voter pour ou contre leurs représentants au sujet de n'importe quelle motion à n'importe quel moment. On peut proclamer avec juste raison qu'il s'agit là du gouvernement le plus démocratique que le monde ait jamais connu. Par l'intermédiaire du réseau mondial, les totaux des votes de chacune des milliers de circonscriptions couvrant le globe aussi bien que les résultats globaux apparaissent avec un retard de moins d'une minute après que les citoyens aient poussé sur leurs boutons.

Quand l'ancienne O.N.U. fut transformée en A.U.N.T., on tomba d'accord, après de longues discussions : le Gouvernement Mondial serait un comité exécutif mettant en œuvre un plan à court terme et un plan à long terme qui coordonneraient ou accorderaient les différents plans nationaux et régionaux. Le plan à court terme, dont la réalisation est presque achevée, avec beaucoup de succès d'ailleurs, visait à procurer un minimum de nourriture, de logement et d'habillement de façon à assurer la santé et le bien-être de chacun sur terre. Le plan à long terme devait déterminer le chiffre optimum de la population mondiale et la maintenir à un niveau qui permettrait le développement physique et mental complet du plus grand nombre possible d'hommes.

Avant la révolution de l'électronique, beaucoup de personnes désiraient ardemment que soient atteints ces deux objectifs, mais ceux-ci n'étaient demeurés que des vœux pieux. Quoique les ressources mondiales de matière et d'énergie aient été suffisantes au XX[e] siècle, comme elles le sont au XXI[e] siècle, les organisations sociales et politiques encore primitives empêchaient la constitution d'un réseau mondial qui, seul, pouvait permettre le regroupement des informations indispensables pour l'exploitation rationnelle de ces ressources. La première tâche de l'Aunt fut d'établir ce réseau en partant des embryons mis en place au XX[e] siècle. A l'expérience, cette tâche demanda de nombreuses années

de travail, exigeant la mise en œuvre de toute la capacité technique du XXe siècle.

Des milliers de stations fixes et mobiles enregistrant des données fonctionnent aujourd'hui sans relâche et de manière automatique dans les villes, dans les champs et dans les forêts, dans les déserts et dans les jungles, sur les montagnes et dans les entrailles de la terre, dans les rivières, dans les mers et dans les océans, dans l'atmosphère et sur orbite autour de la terre dans l'espace extra-atmosphérique et aux limites du système solaire..., collectant une quantité considérable d'observations et de chiffres qui permettent de donner une image complète mais toujours changeante du milieu naturel de l'homme. Les données concernant son milieu social — les usines, les maisons, les écoles, les bureaux, les magasins, les hôpitaux — couvrent tout aussi bien la totalité de ce domaine, mais des techniques différentes sont mises à contribution pour collecter les statistiques démographiques, les renseignements médicaux et ceux relatifs à l'enseignement, les demandes exprimées et la consommation réelle des habitants du globe. Les universités, les bibliothèques ainsi que les centres de recherches du monde entier sont raccordés au réseau.

Les données, enregistrées en permanence là où c'est nécessaire, sont transmises par radio, par télévision, par fac-similé, au moyen d'ondes hertziennes ou de câbles aux centres régionaux où apparaissent sur une série d'écrans de télévision et de panneaux d'affichage lumineux, les synthèses permanentes et les totaux partiels extraits du flot constant d'informations qui y sont traitées. Des ordinateurs spécialisés émettent des prédictions à court terme et donnent des conseils sur les mesures à prendre par le gouvernement local.

De chaque centre régional, les synthèses des informations traitées sont transmises, via des satellites de télécommunication, des circuits hertziens et des câbles à large bande, au centre mondial de la Nouvelle-Genève, où elles sont mises à la disposition des représentants du peuple et de leurs équipes d'experts. Fascinés, nous observons les chiffres des décès et des naissances qui ne cessent de varier, ainsi que le nombre, variant beaucoup plus lentement, de la population mondiale. Nous employons nos interrogateurs pour poser à l'ordinateur des questions plus insignifiantes du genre : « Combien de centimètres de pluie sont tombés à Paris la semaine dernière ? » et « Combien de kilos de

spaghettis, approximativement, seront mangés demain à Naples ? ». Et cela, juste pour le plaisir d'entendre les réponses et de les voir apparaître presque immédiatement sur nos moniteurs. Mais les questions posées par les experts de l'Aunt sont très soigneusement élaborées de façon à vérifier l'exactitude des décisions prises par les ordinateurs chargés de la planification et aussi pour le plaisir de se mesurer avec eux. Car bien que les ordinateurs soient pratiquement infaillibles lorsqu'il s'agit de résoudre des problèmes ayant trait à des faits précis, il y a plusieurs manières d'interpréter ceux-ci et l'on connaît des gens qui en ont tué d'autres à cause de la manière dont ceux-ci avaient prononcé un mot. En ce qui concerne des questions où les appréciations personnelles ou l'imagination entrent en jeu, les cerveaux humains restent supérieurs.

Les capacités formidables et l'extraordinaire mémoire de chaque ordinateur central ont été conçues de façon qu'il puisse être intégré au réseau, lequel atteint une puissance nettement supérieure à la somme de celles de chacune de ses parties. Il peut retirer des leçons de ses expériences et tenir compte des critiques justifiées. Il acquiert ainsi une sorte de sagesse. Certains ordinateurs travaillent en permanence et contrôlent directement le fonctionnement des centrales d'énergie et des complexes industriels, de sorte que tout mauvais fonctionnement du réseau qui pourrait être catastrophique, est immédiatement décelé et corrigé instantanément. Dans une large mesure, l'équipement est construit pour s'auto-entretenir et ses organes sont dédoublés un nombre suffisant de fois pour qu'il fonctionne parfaitement dans n'importe quelle condition, sans compter que des équipes de spécialistes s'activent pour élaborer de nouvelles techniques encore plus perfectionnées qui seront mises en application dans le réseau.

Si ceci était une véritable histoire de science-fiction, le réseau échapperait probablement à la direction des êtres humains et les réduirait en esclavage. Mais en fait, une telle issue est fort improbable puisque ce merveilleux réseau ne dispose pas d'une assez grande indépendance et que ses objectifs sont continuellement revus par des programmeurs humains. Et les programmes suggérés pousseront beaucoup d'êtres humains à travailler à la limite de leurs forces.

Existe-t-il un danger qu'un petit groupe d'êtres humains

emploie le réseau pour asservir le reste de l'humanité ? Cette possibilité existe, mais pourquoi avoir une vision aussi pessimiste ? N'importe quel gouvernement, où une petite minorité impose sa volonté à la majorité, est par nature instable et il est probable que cela ne constituerait tout au plus qu'une phase agitée de l'histoire mondiale. Une destruction mutuelle sur une grande échelle pourrait se produire mais une destruction *totale* semble extrêmement improbable. Supposons qu'un petit groupe prenne en main le contrôle de la Nouvelle-Genève. Nous n'avons qu'à remonter à bord de notre machine espace-temps et à nous armer de courage pour avancer suffisamment loin dans l'avenir pour découvrir que l'humanité, que ce soit au XXIIe ou au XXXIIe siècle, a fini par prendre sa destinée solidement en main.

Chapitre 13

LA REVOLUTION SE POURSUIT

Si l'on étudie la croissance de la science et la place qu'elle tient dans la société, la conclusion principale qui en découle est que la science est devenue une chose trop importante pour être laissée à la direction des savants ou des politiciens et que le peuple tout entier doit la prendre en main si l'on veut qu'elle soit un bienfait et non une malédiction.
J.D. Bernal : *Science in History.*

Au XXe siècle, les révolutions sont devenues monnaie courante. Certaines, du type sud-américain par exemple, éclatent, grondent puis se calment en l'espace d'un week-end. Même la révolution russe de 1917 qui a profondément modifié la vie de millions de gens et dont les plus âgés d'entre nous se souviennent encore, a perdu son énergie initiale et est en train de passer dans les livres d'histoire. La révolution technique et économique qui nous donna l'automobile produite à la chaîne, semble encore exercer une puissante influence mais des indices évidents montrent qu'elle nous conduit dans une impasse lorsqu'elle produit ses effets dans les régions les plus populeuses du globe et je pense qu'avant la fin du XXIe siècle, l'auto sera largement supplantée par d'autres formes de transport.

La révolution de l'électronique présente un caractère qui la rend fondamentalement différente des révolutions précédentes. C'est une révolution qui se poursuit. Elle affectera la vie de nos petits-enfants plus encore qu'elle n'affecte aujourd'hui la nôtre. Nous n'avons pas encore ressenti pleinement ses effets quoiqu'il y ait déjà soixante-dix ans que l'électron a été découvert. Cependant loin de perdre sa force d'impulsion, cette révolution-ci acquiert une énergie supplémentaire. J'ai essayé de montrer comment,

dans un proche avenir, elle changera les différents aspects de notre vie, en extrapolant certaines tendances existantes. Le délai dans lequel ces prévisions se réaliseront pourra toutefois être modifié par des facteurs imprévisibles, comme par exemple une guerre nucléaire se déroulant sur une grande échelle. Mais quelle que soit la façon dont les choses se dérouleront ou quel que soit le temps que ces prévisions mettront pour se réaliser, il est un phénomène que je considère comme certain : le développement de la révolution de l'électronique va se poursuivre. J'ai déjà mentionné dans les chapitres précédents les faits concrets sur lesquels je base ce raisonnement, mais il est bon que je les résume ici brièvement.

L'électron est une particule fondamentale véritablement universelle. Un électron prélevé dans une étoile d'une quelconque galaxie très éloignée possède fondamentalement les mêmes propriétés qu'un électron prélevé à la surface de notre Soleil ou dans un atome terrestre. D'abord, il est stable et possède une grande longévité. Pour toutes les applications courantes, il demeure indestructible et on le trouve dans tout l'univers en quantité inépuisable. Sa masse et sa charge sont si petites qu'il constitue le moyen le plus précis que nous connaissons pour sonder l'univers. Il est aussi la plus agile de toutes les particules stables : la particule stable possédant la charge opposée et que l'on trouve dans tous les atomes — le proton — a une masse environ 2 000 fois supérieure à celle de l'électron. Les instruments et les techniques électroniques offrent un aussi bon rendement dans n'importe quelle ambiance, que ce soit sur terre ou dans le vide presque absolu de l'espace extra-atmosphérique, et cela avec une vitesse de réponse et une sensibilité sans égales. Les appareils électroniques transportent beaucoup mieux l'information que n'importe quel autre genre d'appareils. En outre, ils conviennent très bien au contrôle et à la régulation des petites comme des grandes quantités d'énergie. Autant que nous le sachions, cette situation perdurera aussi longtemps que le système solaire continuera d'exister. Par contre, même si le système solaire continue d'exister, nous pouvons aisément imaginer des conditions dans lesquelles la vapeur, l'air comprimé ou les organismes vivants n'existeraient plus.

Il semble très probable, par conséquent, que l'électronique continuera à dominer la technique même dans un futur éloigné,

et je pense qu'il nous est permis, dans ce dernier chapitre, de nous livrer à quelques spéculations supplémentaires sur la façon dont l'électronique façonnera notre avenir. En dépit de toutes les merveilles de la science et de la technique qui ont foisonné au XX[e] siècle, lequel nous avait promis l'abondance pour tous, la partie la plus importante de l'humanité doit encore faire face aux mêmes problèmes fondamentaux auxquels nos ancêtres primitifs consacraient l'entièreté de leurs forces : obtenir de la nourriture en quantité suffisante, se procurer habillement et logement. Cette incapacité chronique d'assurer une distribution des abondantes ressources alimentaires, des matières premières et de l'énergie, constitue plus un problème politique qu'un problème technique. Dans le chapitre précédent, j'ai indiqué une solution politique qui permettrait à notre technologie très avancée d'être pleinement mise au service du bien commun. Dans ce chapitre, nous supposerons que l'on trouvera l'une ou l'autre solution politique

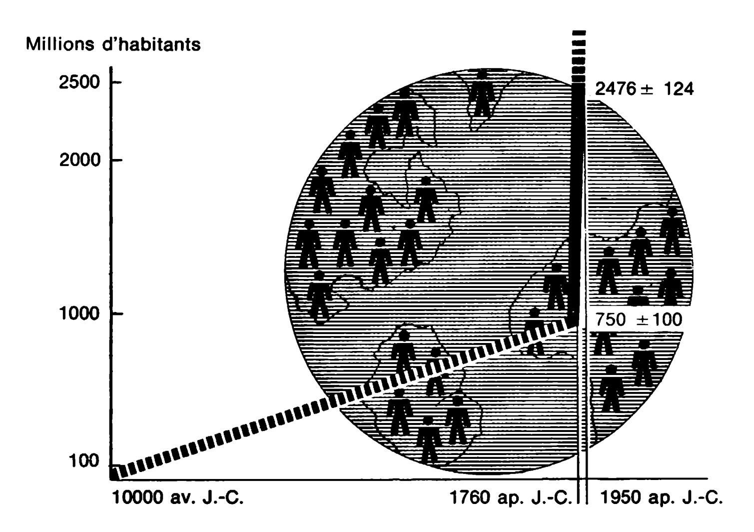


Figure 57. Ce graphique montre que l'accroissement de la population mondiable au cours des deux derniers siècles équivaut aux 2/3 de la population mondiale actuelle. En d'autres termes, en 200 ans la population mondiale a augmenté deux fois autant que durant les 10 siècles précédents. (D'après The Economics of World Population *de Carlo M. Cippola, Penguin, 1962.)*

et nous concentrerons toute notre attention sur l'aspect technique de la question.

L'utilisation intégrale de l'électronique pour satisfaire nos besoins fondamentaux, apparaîtra à la fois comme l'une des causes et l'un des effets d'une coopération toujours plus grande entre les nations et les groupes sociaux à différents stades de développement. Elle élèvera le niveau matériel de la majorité défavorisée de la population du globe à la hauteur de celui de la riche minorité. Bien qu'il soit prévisible qu'à la fin de ce siècle la population mondiale atteindra 6 milliards d'hommes, il n'existe aucune raison, sur le plan technique, empêchant les ressources en matières premières et en énergie aujourd'hui exploitables grâce à la technique moderne, de répondre aux besoins d'une population de cette envergure. Il ne faudrait pas en déduire que le rythme actuel de l'accroissement démographique va se maintenir indéfiniment (voir fig. 57). Même si la technologie du XXIe siècle était capable de répondre aux besoins de 100 milliards d'habitants, la race humaine ne pourrait s'adapter aux conditions cauchemardesques découlant de la surpopulation et du manque d'intimité qui en résulteraient. Toutefois, aucune catastrophe mondiale n'est nécessaire pour réduire le rythme de l'accroissement démographique. Si les taux de natalité élevés sont la caractéristique des peuples techniquement arriérés, l'information des masses ou l'introduction chez eux de techniques très avancées qui auront pour conséquence d'améliorer leur niveau de vie, amènera rapidement une réduction du taux de natalité.

En dernière analyse, la production d'abondantes réserves de nourriture, de vêtements et de logements pour les milliards de gens composant la population mondiale, repose sur l'usage efficace, sur le contrôle et la distribution de l'énergie solaire et de l'énergie nucléaire. Jusqu'à présent, nous nous sommes reposés sur des produits finis plus ou moins complexes provenant de l'utilisation de cette énergie : vie végétale ou vie animale ; combustibles fossiles, charbon, pétrole et gaz ; l'énergie hydraulique ; et, au cours des vingt-cinq dernières années, sur l'énergie extraite des matières fissiles. Quel que soit le combustible, la supériorité de l'électricité (laquelle est constituée par le déplacement d'un grand nombre d'électrons à travers les conducteurs) s'est affirmée en raison de la facilité avec laquelle elle peut être distribuée. En conséquence, il apparaît que nous devons nous

diriger, dans le futur, vers la réalisation d'un superréseau de distribution de l'électricité qui relierait les réseaux électriques couvrant des continents entiers et qui serait alimenté par différents types de stations génératrices d'énergie. Le contrôle et la régulation automatique de ce grand réseau seront évidemment effectués électroniquement.

Seule une infime fraction de l'électricité employée aujourd'hui est obtenue par la conversion directe des rayons solaires (voir fig. 58A). L'invention de la batterie solaire qui fonctionne grâce à un semi-conducteur (voir chapitre 3) — lequel engendre un courant électrique lorsqu'on l'expose aux rayons du soleil — nous offre une des méthodes les plus simples et les plus efficaces pour

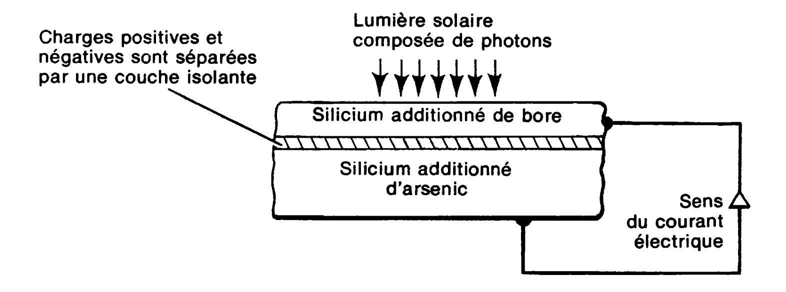


Figure 58 A. Le fonctionnement d'une cellule solaire au silicium.

convertir l'énergie solaire en énergie électrique. A l'avenir, aussi intense que soit l'usage de telles batteries, aucune pénurie de matière première n'est à craindre puisqu'elles sont réalisées presque entièrement avec du silicium traité. Or, si l'on considère la croûte terrestre, en la limitant à une épaisseur de 15 km, 36 pour 100 de son poids sont constitués de silicium. En fait, il est six fois plus abondant que le fer. L'énergie requise pour extraire le silicium du sable ou de la roche et pour le purifier de façon qu'il puisse entrer dans la composition des batteries solaires sera regagnée mille fois grâce à la propriété qu'elles possèdent d'exploiter une importante source d'énergie. Jusqu'ici, on a employé principalement les batteries solaires pour alimenter en

électricité les satellites artificiels et les sondes spatiales, mais il ne s'écoulera pas beaucoup de temps avant qu'on les utilise sur terre pour la production d'énergie (voir fig. 58B). Peu importe qu'elles soient installées en de larges terrasses dans les régions les plus ensoleillées du globe et que, de là, elles alimentent les superréseaux de distribution de l'électricité, ou qu'elles se présentent sous la forme d'appareils portatifs capables d'alimenter des moteurs électriques fixes ou des véhicules électriques ; il est indéniable que le fait qu'elles ne comportent aucune pièce en mouvement et ne demandent pratiquement aucun entretien séduira les ingénieurs de l'avenir. On pourrait s'en servir, par exemple, pour transformer des déserts arides en de verdoyants potagers, car elles peuvent fournir l'énergie nécessaire pour produire de l'eau douce à partir de l'eau de mer et pomper l'eau ainsi traitée jusqu'aux canaux d'irrigation qui abreuveront le sol desséché.

Les appareils électroniques seront également mis à contribution pour contrôler en permanence l'humidité des sols tout comme pour moissonner automatiquement.

L'émission thermoionique (c'est-à-dire l'émission d'électrons dans le vide au moyen d'un émetteur et leur réception par un collecteur) sera employée pour produire de l'électricité à partir des sources calorifiques conventionnelles et constituera une autre possibilité d'alimenter le réseau électrique. Le principe sur lequel repose cette méthode est connu depuis cinquante ans, mais ce n'est que récemment que les ingénieurs s'y sont intéressés, au moment où deviennent disponibles de nouvelles matières émettrices et de nouvelles techniques.

Les grands complexes industriels automatiques de l'avenir feront principalement usage d'électricité d'origine nucléaire : elle remplacera celle produite au moyen de combustibles fossiles. Les stations nucléaires seront entièrement automatisées et placées sous le contrôle d'un ordinateur. Comme il est probable que les problèmes difficiles et complexes posés par le contrôle de la fusion thermo-nucléaire seront résolus au cours des cent prochaines années, à leur tour, des stations à fusion nucléaire remplaceront finalement les réacteurs à fission et elles pourront fournir une énergie pratiquement illimitée durant des millions d'années. Les combustibles tels que le charbon et le pétrole seront employés de manière beaucoup plus intelligente et efficace : on

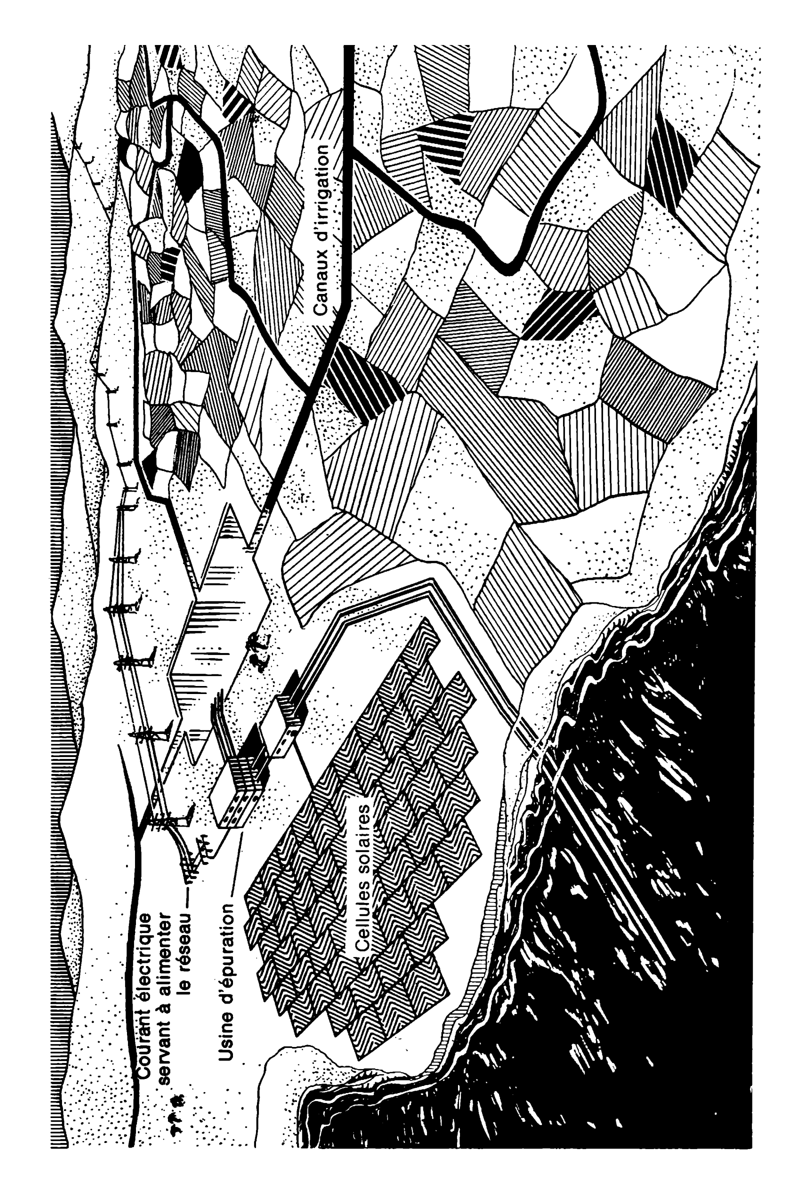


Figure 58 B. Ce paysage imaginaire montre comment des cellules solaires au silicium pourraient être utilisées sur grande échelle pour transformer l'énergie solaire en courant électrique.

en extraira chimiquement des produits aussi divers qu'importants ; on ne les brûlera plus comme on le fait aujourd'hui, car c'est là une méthode à la fois peu rationnelle et grossière. Si nous continuons à nous en servir selon l'ancien système au rythme actuel, il y aura, de toute manière, pénurie de combustibles dans un siècle environ.

Lorsqu'on utilisera le charbon et le pétrole comme matières premières de grande valeur plutôt que comme de vulgaires combustibles, leur extraction ne sera que le premier stade d'une longue chaîne d'un processus mécanique et chimique qui nous fournira les différents genres de matières plastiques, les fibres et les tissus synthétiques, les produits pharmaceutiques, les teintures, les couleurs... dont la société moderne a besoin. L'automation de l'extraction du charbon dont nous avons parlé au chapitre 7, nous conduira à son tour à la gazéification à grande échelle *in situ* à l'aide de méthodes employant des appareils entièrement automatiques commandés par ordinateur (voir fig. 59). L'industrie pétrolière qui s'automatise déjà, jouera à l'avenir un rôle très différent de celui qu'elle joue aujourd'hui, à la fois du point de vue technique et du point de vue politique. Le déclin de l'automobile (voir ci-dessous) changera complètement l'économie universelle et le fait que le pétrole — richesse minérale mondiale — est aux mains de compagnies privées, se révélera incompatible avec un planning industriel établi à l'échelle du monde.

Le travail dangereux et malsain qui oblige à envoyer des hommes creuser des galeries au sein de la terre, deviendra désuet, non seulement dans le cas de l'extraction du charbon, mais aussi pour les autres minéraux. L'extraction de métaux tels que le fer, l'aluminium, le cuivre et le titanium contenus dans les minerais, donnera naissance à une industrie de traitement totalement automatique. Des véhicules sans conducteur et des robots employant diverses formes d'énergie (énergie nucléaire, ondes haute-fréquence, produits chimiques...) et dirigés par un ordinateur, fondront les métaux, ou les gazéifieront, ou encore les liquéfieront ou les pulvériseront et puis les conduiront jusqu'à la surface où ils seront amenés vers l'étape suivante du traitement. Le travail sera supervisé au moyen de caméras de télévision.

Des robots équipés d'instruments électroniques, d'émetteurs de radio et de télévision exploreront les parties les plus inaccessibles

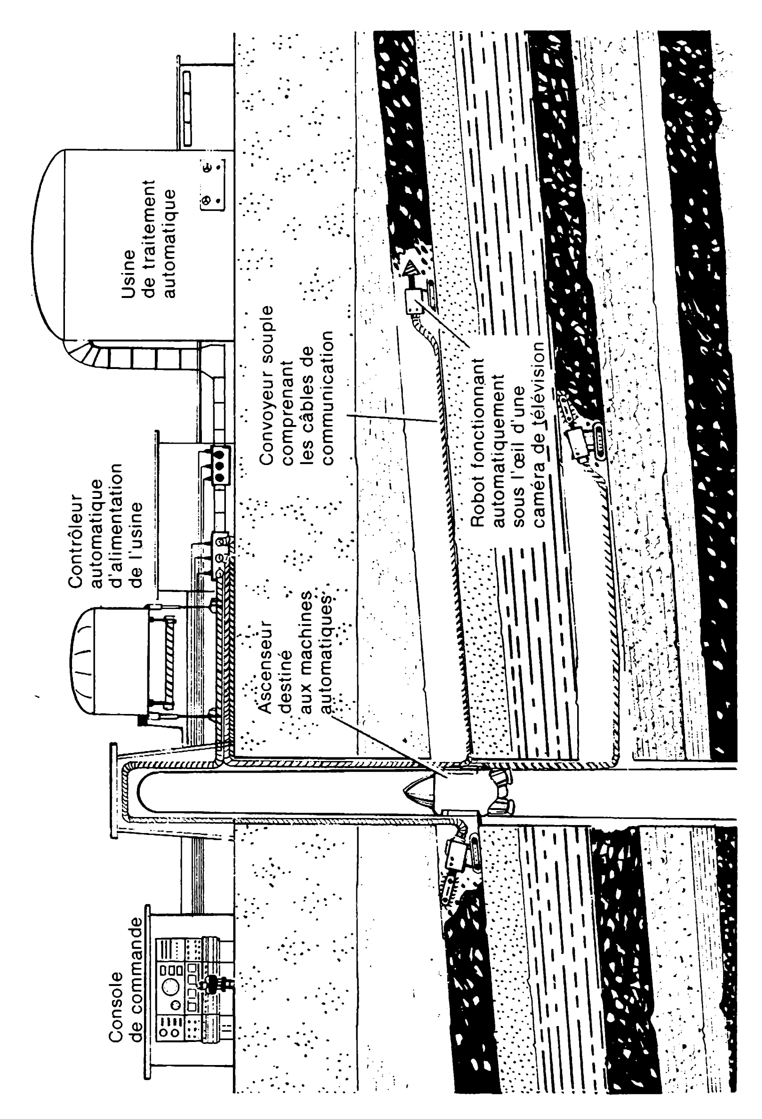


Figure 59. L'exploitation automatique d'une mine : il n'est plus nécessaire de faire descendre des hommes sous terre.

de la croûte terrestre et de l'océan et analyseront les métaux qu'ils y découvriront, de sorte qu'on pourra élaborer une planification économique basée sur une connaissance précise des ressources mondiales en matières premières.

Comment seront les villes de l'avenir ? Beaucoup d'écrivains, lorsqu'ils traitent de cette question, admettent l'idée qu'une augmentation de la population urbaine est synonyme de diffusion de la civilisation. Cette hypothèse a pu être vraie jusqu'à présent mais paraît douteuse pour l'avenir. Il existe de nombreux désavantages à vivre dans de très grandes villes et au-delà de certaines dimensions, celles-ci deviennent difficiles à gouverner. Ce n'est pas tellement le progrès de la civilisation considérée dans son ensemble qui a amené la croissance des villes, au cours du XXe siècle, mais cette augmentation est le résultat de la révolution industrielle et du fait que le système actuel de production attire beaucoup de personnes dans les zones qui contiennent les usines et les bureaux et dont la population ne fait qu'augmenter. En découlent les problèmes qui se posent aux gens obligés de faire chaque jour la navette entre leur domicile et leur lieu de travail situé dans une très grande ville ; nous en avons discuté au chapitre 8. Néanmoins, comme nous l'avons vu, grâce à la diffusion croissante de l'automation et des moyens de télécommunications, la révolution de l'électronique est en voie de modifier cet état de chose. L'accroissement rapide de la population complique encore le problème, mais elle ne fait que retarder plutôt qu'elle n'empêche la limitation des dimensions des villes.

Habituellement, nous ne nous intéressons pas beaucoup à des problèmes qui ne seront pas résolus au cours de notre vie ou de celle de nos enfants, néanmoins j'estime que nous devrions nous sentir concernés par ce problème de la concentration urbaine tant qu'il en est encore temps ; les experts ne le résolvent pas pour nous. Je trouve que la plupart des remèdes à court terme qui ont été proposés ne sont pas meilleurs que la maladie elle-même, car ils reposent habituellement sur l'acceptation de la nécessité d'accroître la densité de la population dans une zone bien déterminée des villes et des agglomérations urbaines. Au cours des cinquante prochaines années un des effets à court terme de la révolution de l'électronique pourrait être de faciliter la construction de bâtiments élevés et même il apparaît techniquement possible de réaliser des buildings de 3 km de haut qui pourraient

loger des communautés entières ; mais je suis convaincu que cela ne constituera qu'une phase relativement courte de l'évolution future des villes.

Le xxe siècle apparaîtra peut-être dans l'histoire comme l'âge de l'automobile, mais je ne pense pas que cet engin continuera à dominer les transports longtemps après la fin de ce siècle. J'ai déjà décrit plusieurs manières selon lesquelles le contrôle électronique nous aidera à postposer l'inévitable interdiction d'utiliser les automobiles dans les villes mais le moteur à combustion possède des inconvénients inhérents à son principe qui empêcheront l'auto de devenir le moyen universel servant à transporter des passagers. Ces moteurs consomment un combustible dont les réserves ne sont pas éternelles et ils l'emploient, en outre, de manière extravagante. Les gaz qu'ils rejettent constituent une menace toujours grandissante pour la santé des populations urbaines. Ils sont bruyants. Utilisés en grand nombre, laissés aux fantaisies de nombreux usagers, ils n'atteignent pas leur but premier : transporter les gens d'une place à l'autre de manière relativement sûre et rapide. Je ne leur vois aucun avenir à long terme, que ce soit pour permettre des voyages de ville à ville ou des déplacements à longue distance, car dans ces cas, il est probable qu'il sera plus efficace d'emprunter des véhicules sur monorail ou d'autres systèmes de transports à grande vitesse alimentés par l'énergie électrique et contrôlés électroniquement. En dépit de l'énorme investissement que cela représente aujourd'hui, je pense que les autos seront remplacées pour les petits déplacements par des véhicules n'émettant ni fumée ni bruit, de vitesse modérée et alimentés par des piles à combustible perfectionnées ou par des batteries rechargeables très compactes, qu'ils seront guidés automatiquement et soumis aux ordres d'un ordinateur géant. Un des plaisirs dont jouiront les habitants des villes futures sera de se promener dans des rues et des avenues conçues uniquement pour les piétons et qui ne seront troublées ni par le bruit, ni par les dangers inhérents à la circulation automobile qui est en train d'anéantir aujourd'hui le charme de nos cités.

Que fera l'homme de l'avenir des nombreux loisirs que lui aura procurés la révolution de l'électronique ? Le Dr Dennis Gabor dans son livre *Inventing the Future* défend avec beaucoup de force et de mordant l'idée que là réside le plus grand danger auquel nous devrons faire face, car la plupart d'entre nous ne

sont pas psychologiquement préparés à occuper de si nombreux loisirs. Il me semble que ces difficultés s'aplaniront avec le temps. Je pense que, le moment venu, l'homme s'adaptera à sa nouvelle manière de vivre. Quelle que soit la direction vers laquelle l'avenir de l'homme nous entraîne, il n'existe aucune raison pour que ce ne soit pas un avenir à long terme au regard de la durée d'une vie humaine. Ces bouleversements ne se produisent, après tout, que quelques milliers d'années après l'époque où l'homme n'était encore qu'un sauvage nu et, comme l'a souligné Sir George Thomson, les efforts les plus considérables déployés par l'espèce humaine pour se détruire elle-même ne seront probablement pas plus efficaces que ceux déployés par le bacille de la peste ou le virus de la grippe. L'homme a le temps, je pense, de s'ajuster psychologiquement à l'ambiance sociale créée par l'homme aussi bien qu'à son environnement matériel.

De toute façon, l'argument selon lequel l'homme serait complètement désaxé s'il ne se livre plus à ses occupations traditionnelles, ne recèle-t-il pas une erreur ? Ce n'est pas plus un besoin existentiel pour l'homme de travailler 40 heures par semaine dans une usine, ou pour une femme de se livrer aux corvées ménagères durant 100 heures par semaine, que ne l'était pour nos ancêtres la nécessité de chasser les animaux sauvages pour obtenir leur nourriture. Ces occupations correspondent simplement à des stades de l'évolution sociale. « Loisir » et « travail » sont des mots qui prendront une signification nouvelle au cours de cet âge nouveau, et les hommes commenceront seulement à employer pleinement toutes leurs capacités à l'apogée de la révolution de l'électronique.

Orientation bibliographique

I. Technique de l'électronique

* Aisberg E. : *Le transistor ?... rien de plus simple*. Société des Editions de Radio, Paris.
* Guillien R. : *L'électronique* (4 volumes). Presses Universitaires de France, Paris, 1963.
  Ce cours en 4 volumes est destiné aux élèves ingénieurs ou à ceux qui ont de bonnes connaissances en électricité et en mathématiques.
* Œhmicien J.P. : *L'électronique ?... rien de plus simple*. Société des Editions de Radio, Paris.

II. Manuels pratiques

Arnaud J.-F. : *Dictionnaire de l'élèctronique*. Larousse, Paris, 1966.

Deschepper R. et Dartevelle Ch. : *Le magnétophone et ses utilisations*. Société des Editions Radio, Paris.

* Frechet E. : *La pratique de la construction radio*. Société des Editions Radio, Paris.
* Guilbert Ch. : *Récepteurs à galène et à transistors*. Société des Editions Radio, Paris.
  Données pratiques pour la réalisation des récepteurs à galène et à un ou deux transistors.
* Huré F. : *A la découverte de l'électronique*. Librairie de la Radio, Paris.
  200 manipulations simples d'électricité et d'électronique.
* Schreiber H. : *Initiation à la pratique des récepteurs à transistors*. Société des Editions Radio, Paris.

* Les livres marqués d'un astérisque demandent que soient connues quelques notions d'électronique.

III. Périodiques

* *Electronique actualité.* Donne les toutes dernières nouvelles de l'industrie électronique (hebdomadaire).
* *Electronique industrielle.* Tient au courant les professionnels des progrès accomplis en ce domaine (10 fois l'an).
* *Radio constructeur et dépanneur.* Revue des artisans, agents techniques et amateurs avertis (10 fois l'an).
* *Télévision.* Cette revue s'adresse à tous les techniciens s'intéressant à la diffusion des images (10 fois l'an).
* *Toute l'électronique.* Cette revue s'adresse à tous les techniciens de la radio, de la télévision et de l'électronique, qu'elle tient au courant des progrès accomplis dans ces domaines (10 fois l'an).

World Radio TV Handbook. World Radio-Television Handbook Co, Danemark. Publie chaque année la liste de toutes les stations de radio et de TV dans le monde et fournit quantité d'informations et d'adresses.

IV. Radio et Télévision

Aisberg E. : *La Radio ?... mais c'est très simple !* Société des Editions Radio, Paris.
Le meilleur ouvrage de vulgarisation où les principes de la radio sont exposés sous forme de dialogues entre deux personnages et illustrés de dessins amusants.

* Aisberg E. : *La télévision ?... mais c'est très simple !* Société des Editions de Radio, Paris.
* Aisberg E. et Doury J.-P. : *La télévision en couleurs ?... c'est presque simple.* Société des Editions de Radio, Paris.
* Arnaud J.-F. : *La télévision.* Presses de la Cité, Paris, 1964.

Beck A.H.W. : *Les télécommunications.* Coll. L'univers des connaissances, Hachette, Paris, 1967.

V. Les ordinateurs

Bellavoine C. : *Qu'est-ce qu'un ordinateur ?* Coll. La vie de l'entreprise, Dunod, Paris, 1969.

* Bertin J., Pitout M. et Rougier J.C. : *L'exploitation partagée des ordinateurs.* Dunod, Paris, 1967.

Burck G. : *Le monde à l'heure des ordinateurs.* Dunod, Paris, 1967.

Charafas D.N. : *Les applications des ordinateurs.* Editions de l'Entreprise Moderne, Paris, 1961.
Dans l'industrie, le commerce et les services publics...

Henrion C. : *L'entreprise moyenne et l'ordinateur*. Dunod, Paris, 1968.
Morange P. : *Initiation à la programmation*. Coll. La vie de l'entreprise, Dunod, Paris, 1969.

VI. La cybernétique

Guilbaud G.Th. : *La cybernétique*. Coll. Que sais-je ?, n° 638, Presses Universitaires de France, Paris, 1954.
Wiener N. : *Cybernétique et Société*. Le Monde en 10/18, Union Générale d'Editions, Paris, 1962.
Ce livre a exposé pour la première fois les principes et l'importance de la cybernétique. Wiener est l'un des plus géniaux penseurs de notre temps.
Le dossier de la cybernétique. Marabout Université n° 150, 1966.
Dossier composé de textes, tous inédits, réalisés sous la supervision scientifique du professeur Georges R. Boulanger, président de l'Association Internationale de Cybernétique.

VII. L'automation

Chalvet M. : *L'automation*, Armand Colin, Paris, 1966.
Rustant M. : *L'automation, ses conséquences humaines et sociales*. Les Editions Ouvrières, Paris, 1959.
Salleron, L. : *L'automation*. Coll. Que sais-je ?, n° 723, Presses Universitaires de France, Paris, 1956.

VIII. La révolution en physique

Hoffmann B. : *L'étrange histoire des quanta*. Ed. du Seuil, Paris, 1967.

IX. Les aspects politiques, économiques et sociaux

Brincourt A. : *La télévision et ses promesses*. La Table Ronde, Paris, 1960.
Cazeneuve J. : *Sociologie de la Radio-Télévision*. Coll. Que sais-je ?, n° 1 026, Presses Universitaires de France, Paris, 1963.
Diligent A. : *La Télévision, progrès ou décadence*. La Nouvelle Encyclopédie, Hachette, Paris, 1965.
Garric D. : *L'informatique, révolution totale*. Edition Spéciale, Paris, 1969.

Gritti J. : *Télévision et Conscience chrétienne*. Privat, Paris, 1963.
Guérin E. : *Télévision, notre amie*. Bonne Presse, Paris, 1961.
Hourdin G. : *Une civilisation de loisirs*. Calmann-Lévy, Paris, 1961.
L'information à l'ère spatiale. M.C. 66/D. 64/F., Unesco, 1968.
Packard V. : *La persuasion clandestine*. Calmann-Lévy, Paris, 1958.

X. Histoire

Descaves P. et Martin A.V.J. : *Un siècle de radio et de télévision*. Les Productions de Paris, Paris, 1963.

XI. L'avenir

Fourastié J. : *Les 40 000 heures*. Laffont-Gonthier, Paris, 1965.

Glossaire

année-lumière : unité astronomique équivalent à la distance parcourue en un an par la lumière, dans le vide, soit 9 461 000 000 000 km.

anode (= plaque) : électrode porté à un potentiel positif et qui recueille les électrons dans un tube à vide.

bande passante : largeur d'une bande de fréquences.

cathode : électrode négative émettant les électrons, à l'intérieur d'un tube à vide.

cathodique : qui a rapport à la cathode.

composant : pièce entrant dans la fabrication d'un circuit électronique.

couplage : transfert de l'énergie électrique d'un circuit à un autre.

cybernétique : science ayant rapport aux machines qui se gouvernent automatiquement en vue d'atteindre un but déterminé.

définition : division de l'image en un certain nombre de lignes et de points en vue de son analyse électronique.

diode (= valve) : lampe ou élément semi-conducteur à deux électrodes (anode et cathode) ; habituellement utilisée pour redresser le courant.

dissector d'images : tube de prise de vues pour caméra de télévision.

distorsion : déformation subie par les signaux électriques au cours de leur transmission.

électroscope : appareil qui permet de détecter la présence de l'électricité statique et d'en déterminer le signe.

fac-similé : reproduction à distance par des moyens électroniques d'une lettre, d'un dessin, d'une photo ou même de la page entière d'un journal.

feed-back : action de contrôle en retour : une fraction du signal de sortie

est renvoyée vers l'entrée de manière à ce que le système puisse s'autocontrôler.

fréquence : nombre de cycles (ou périodes) par seconde dont est composée une onde déterminée.

gigacycle : unité de fréquence qui vaut un milliard de cycles par seconde.

hardware : ensemble physique des appareils composant l'ordinateur. Le hardware comprend : l'unité centrale, les unités périphériques ainsi que les terminaux, les lignes de transmission et les machines comptables associées à l'ordinateur.

hétérodyne : circuit électronique engendrant des oscillations de haute fréquence.

hologramme : cliché photographique ayant enregistré un phénomène de diffraction de la lumière provenant d'un laser, avec un objet à 3 dimensions à photographier. Ce cliché éclairé à nouveau par le rayon laser reproduit en 3 dimensions l'image de l'objet photographié.

iconoscope : tube de prise de vues pour caméra de télévision.

impulsion : signal très bref se reproduisant à intervalles réguliers.

ionisation : formation d'ions par l'addition ou la soustraction d'électrons à des atomes.

klystron : tube électronique servant à produire ou à amplifier des micro-ondes.

laser : source lumineuse produisant un faisceau de lumière très pure et cohérente dont les rayons sont quasi parallèles.

longueur d'onde : c'est la distance parcourue par une onde durant une période. La longueur d'onde caractérise une onde de fréquence déterminée (la longueur d'onde est l'inverse de la fréquence).

mégacycle : unité de fréquence qui vaut 1 million de cycles par seconde.

micro-ondes : ondes électroniques dont les longueurs d'onde sont comprises entre 30 cm et 1 mm.

neurone : cellule nerveuse formée d'un noyau cellulaire et de prolongements.

nucléonique : partie de l'électronique qui se préoccupe de l'accélération, de la détection, du comptage et de la séparation des particules.

oscilloscope : appareil permettant de visualiser les ondes : celles-ci se dessinant sur un tube cathodique.

penthode : lampe à 5 électrodes. Elle possède sur la triode l'avantage d'assurer une meilleure amplification.

photon : nom donné au grain d'énergie lumineuse (ou quantum), par analogie avec l'électron.

précession : mouvement conique effectué par l'axe de l'électron autour d'une position moyenne.

quantum (pl. quanta) : énergie élémentaire de rayonnement.

rayons cathodiques : rayons émis par la cathode et se dirigeant vers l'anode. Ce sont ces rayons qui — frappant l'écran du téléviseur (qui est un « tube cathodique ») — produisent l'image.

redresseur : composant (diode ou semi-conducteur) ne laissant passer qu'une alternance d'un courant alternatif.

répéteur (téléphonique) : amplificateur téléphonique double, amplifiant le courant téléphonique dans les deux sens.

senseur : dispositif sensible à la lumière, au son, au mouvement...

servomécanisme : mécanisme réalisant seul un certain programme d'action, à la suite d'une comparaison entre les consignes qui lui sont données et le travail qu'il exécute.

software : terme employé par opposition à *hardware*. Le software est l'élément « intellectuel » de l'ordinateur, la façon de s'en servir. Il est essentiellement composé des programmes.

spot : petite tache lumineuse produite par l'impact des électrons sur l'écran fluorescent d'un tube cathodique.

télétype : appareil télégraphique émetteur-récepteur doté d'un clavier de machine à écrire.

température de bruit : nombre de degrés thermiques dont il faut augmenter la température d'un amplificateur pour que la puissance du bruit à sa sortie double.

thermoionique (effet thermoionique) : L'effet thermoionique est l'émission d'électrons par un corps sous l'action de la chaleur.

thermistance : résistance qui change de valeur en fonction de la température.

thyratron : tube à gaz à une ou plusieurs électrodes qui permettent de faire passer le courant de décharge, sans avoir d'influence sur l'intensité de celui-ci.

transducteur : élément permettant de transformer une onde sonore ou une vibration en un signal électrique.

triode : lampe à trois électrodes (anode, cathode et grille) qui sert habituellement d'amplificatrice ou d'oscillatrice.

valve : voir diode.

varistance : élément semi-conducteur dont la résistance varie avec la tension que l'on applique à ses bornes.

Index

Table des matières

DES PRESSES DE GERARD & C°
65, rue de Limbourg, B-4800 Verviers (Belgique)
D. 1969/0099/244

Samuel Handel est né à Londres en 1913. Il y poursuivit ses études à l'école polytechnique de Regent Street et à l'University College. La majeure partie de sa carrière s'est déroulée dans diverses branches de l'industrie électronique. Il est membre de l'« Institution of Electrical Engineers » et, depuis 1956, s'est installé comme expert conseil indépendant.

Il a publié de nombreux articles sur l'électronique et sur d'autres sujets connexes dans des revues techniques anglaises et européennes. Il a également publié un « Dictionnaire de l'Electronique » chez Penguin.

S. Handel a écrit « *La Révolution de l'Electronique* » car il avait acquis la conviction croissante que la science et la technique ont des répercussions au point de vue social, économique et politique et qu'elles concernent un public beaucoup plus étendu que celui des savants et des techniciens.

marabout université

la révolution de l'électronique

La révolution qui s'accomplit depuis une cinquantaine d'années, est, grâce à l'électronique, la plus radicale, la plus totale qu'ait connue l'humanité. S. Handel nous raconte cette passionnante aventure scientifique et humaine, toujours en cours, insistant moins sur ses aspects techniques que sur ses répercussions économiques et politiques. Après avoir esquissé l'histoire de la découverte de l'électron et les principes de l'électronique, l'auteur en décrit les applications, de l'électroménager à la conquête du cosmos, en passant par l'essor des transports, des télécommunications, des ordinateurs, de l'automation, de la cybernétique, sans oublier le développement des sciences biologiques.
Si l'auteur souligne les dangers d'une telle révolution (notamment la prolifération d'armes de plus en plus meurtrières), sa conclusion est résolument optimiste : pour l'homme du XXIe siècle, grâce aux prodigieux moyens mis à sa disposition, les termes "travail" et "loisir" acquerront assurément un sens nouveau.

★★★ Bibliothèque Marabout - Publication hebdomadaire 69/N° 51